



TUGAS AKHIR- RC14-1501

PERENCANAAN GERBANG TOL PANDAAN - MALANG

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
NRP 3113 100 121

Dosen Pembimbing
Ir. Hera Widyastuti, M.T, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR-RC14-1501

PERENCANAAN GERBANG TOL PANDAAN-MALANG

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
NRP 3113 100 121

Dosen Pembimbing
Ir.Hera Widyastuti, MT.PhD
NIP. 196008281987012001

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT-RC14-1501

PLANNING OF PANDAAN-MALANG TOLL GATE

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
NRP 3113 100 121

Supervisor
Ir.Hera Widyastuti MT.PhD
NIP. 196008281987012001

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**PERENCANAAN GERBANG TOL PANDAAN-
MALANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Perhubungan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MAGISTRA ZUHAIK WASISTHA

NRP. 3113100121

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Hera Widyastuti MT.Phd

.....

(Pembimbing)

SURABAYA

JULI 2017

(Halaman Ini Sengaja dikosongkan)

PERENCANAAN GERBANG TOL PANDAAN – MALANG

Nama : Magistra Zuhair Wasistha
NRP : 3113100121
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Ir. Hera Widyastuti, MT., PhD

ABSTRAK

Jalan tol merupakan jalan yang dikhususkan kendaraan dengan minimal 2 gandar (truk, mobil, bis, dll) dan sebelum memasuki jalan tol terdapat gerbang tol untuk membayar biaya masuk ke jalan tol tersebut dengan biaya yang berbeda-beda tiap golongan. Di dalam pelaksanaannya jalan tol yang seharusnya jalan bebas hambatan tetapi sering kali terjadi kemacetan salah satu faktor dari kemacetan itu sendiri adalah panjangnya antrian di gerbang tol dan kurang seimbangnya antara gerbang tol yang dioperasikan dengan jumlah kendaraan yang masuk jalan tol. Sehingga dibutuhkan jumlah gerbang tol yang optimum agar jalan tol dapat memaksimalkan fungsinya sebagai jalan bebas hambatan.

Dalam perencanaan ini menggunakan metode First In First Out sebagai disiplin antrian dan metode Single Channel – Single Phase untuk struktur antrian pada gerbang tol. Perencanaan gerbang tol ini mempertimbangkan gerbang tol konvensional, gerbang tol otomatis (GTO), dan On Board. Perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang, merencanakan gerbang tol pada tahun 2016, 2030, dan 2045. Harapannya perencanaan ini didapati jumlah gerbang tol yang optimum dalam segi panjang antrian, dan tingkat pelayanan.

Hasil dari penelitian perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2016 gerbang Purwodadi, Lawang, Pakis 1, Pakis 2, dan Malang untuk arah masuk dan keluar terdapat 1 gardu tol konvensional, 1 gardu tol otomatis dan on board unit digabung menjadi 1 gardu. Pada tahun 2030 diasumsikan semua gerbang tol menggunakan gardu tol otomatis dan on board unit digabung menjadi 1 gardu seperti pada tahun 2016. Gerbang Purwodadi untuk arah masuk 1 gardu, keluar 2 gardu. Gerbang Lawang arah masuk 1 gardu, keluar 2 gardu. Gerbang Pakis 1 arah masuk 2 gardu, keluar 2 gardu. Gerbang Pakis 2 arah masuk 1 gardu, keluar 1 gardu. Gerbang Malang arah masuk 2 gardu, keluar 3 gardu. Pada tahun 2045 diasumsikan 2 jenis gardu yaitu gardu tol otomatis dan gardu tol on board unit. Gerbang Purwodadi, Lawang, dan Pakis 1 untuk arah masuk dan keluar terdapat 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit. Untuk gerbang tol Pakis 2 arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, sedangkan arah keluar terdapat 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit. Untuk gerbang tol Malang arah masuk terdapat 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, sedangkan arah keluar terdapat 4 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit.

Kata kunci : Perencanaan Gerbang Tol, Gerbang Tol Pandaan-Malang, Gerbang Tol yang Optimum

PLANNING OF PANDAAN-MALANG TOLL GATE

Name : Magistra Zuhair Wasistha
NRP : 3113100121
Departement : Teknik Sipil
Supervisor : Ir. Hera Widyastuti, MT., PhD

ABSTRACT

Toll is a specialized road for minimum 2 axled vehicles (truck, car, bus, etc) and a toll gate as a place to pay service fee according to the vehicle's category is placed at the entrance. Toll supposed to be obstacle-free road, but in reality, traffic jam still occurs, few causes of this problem are: the long queue in toll gate and lack of balancy between operating toll gate and number of vehicles in toll road. Optimum number of toll gate is needed to maximize the function of toll as obstacle-free road.

In this planning, FIFO method is used as queue rule and single channel-single phase method for queue structure in toll gate. This toll gate planning considers conventional toll booth, automatic toll booth (gto), and on board. This pandaan-malang toll gate planning is for year 2016,2030,2045. The expected result is optimum number of toll gate, to decrease queue length and increase service level.

The study result in 2016 at purwodadi gate, lawang gate, pakis 1 gate, pakis 2 gate, and malang, there is 1 conventional booth, 1 automatic and on board unit gathered for entrance and exit. In 2030, assuming that all booths are automatic booth and on board unit is gathered as in 2016. Purwodadi entrance is 1 booth, and exit is 2 booths. Pakis 1 entrance is 2 booths, and exit is 2 booths. Pakis 2 entrance is 1 booth and exit is 1 booth. Malang entrance is 2 booths and exit is 3 booths. In 2045, assuming that 2 types of toll booths are automatic booth and on board unit. Purwodadi, lawang, and pakis 1 entrance and exit is 2 automatic booths and toll on board unit. Pakis 2 entrance is 1 automatic booth and 1 toll on board unit, exit is 2 automatic booths and 1 toll on board unit. Malang entrance is 3 automatic booths and 1 toll on board unit and exit is 4 automatic booths and 1 toll on board unit.

Keyword: Toll Gate Planning, Pandaan-Malang Toll Gate, Optimum Number of Toll Gate

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat, hidayah-Nya, dan berkah-Nya. Kami dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Perencanaan Gerbang Tol Pandaan – Malang” tepat pada waktunya.

Dalam proses pengerjaannya, penulis menemui banyak kendala-kendala yang tidak dapat penyusun selesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak karena itu penyusun ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ibu Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing dan yang telah membagikan ilmunya kepada saya.
3. Ghea Garini dan sahabat-sahabat yang selalu memberi dukungan dan mendoakan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman-teman S-56 yang tercinta, yang telah berjuang bersama-sama menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil ITS.

Penulis berusaha menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya dan menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Karena itu segala bentuk saran, koreksi dan kritik dari pembaca sangat penulis harapkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

LEMBAR TERIMAKASIH

Keluarga besar Bapak Noor Eddy dan Ibu Munirawati atas semua doa dan dukungan untuk kelancaran tugas akhir ini.

Ghea Garini yang selalu menyemangati, membantu, dan mendokan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Sahabat-sahabat terbaik saya : Arya Teja Wijaya, Varin Cahaya Putri, Musya Sultani, M.Facharazie, Affan Tian, Hilmi Ashri, dan sahabat-sahabat saya di Jakarta atas semua semangat dan doa yang selalu diberikan.

Keluarga Departemen Dalam Negeri terbaik : Pandu Hermawan, Astirawati, Dzakia Amalia Karima, Faisal Haq, Firsty Swastika, Rafi Setiaji, Syatrio Lumacson, Ivan Dwi Ramadhan, Rae Rizqy, Gufra Ramadana, Saocy Vidya, Oka, dan Fauzan

Teman-teman seperjuangan dalam pengerjaan tugas akhir : Reza Sutrisna, Etza Nandira, dan Para Asli Pejuang Ridwan Fauzi, Galih Gardian, Erlan Saputra, Arnold Yosua, M.Irfan Ardiansyah, Pejuang Transport, dan kawan-kawan Masa Depan Gemilang dan kawan-kawan PK Syariah yang telah banyak berbagi ilmu dan membantu dalam tugas akhir ini.

Keluarga Besar HMS FTSP ITS, seluruh angkatan 2013 S-56 untuk segala ilmu-ilmu akademis maupun pembelajaran hidup yang sangat berharga.

Adik-adik S57 dan S58 serta senior-senior atas pengalaman hidup semasa perkuliahan ini.

Dan semua pihak yang telah membantu dan tak dapat disebutkan satu persatu.

Terimakasih, VIVAT !

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Lokasi Studi	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Umum.....	9
2.2 Pengertian, Tujuan, dan Manfaat Jalan Tol.....	9
2.2.1 Persyaratan Jalan Tol	10
2.3 Jenis Kendaraan pada Jalan Tol	12
2.4 Perencanaan Gerbang Tol	12
2.4.1 Kriteria Umum	12
2.4.2 Jumlah Kebutuhan Gardu Tol	13
2.5 Teori Antrian.....	15
2.5.1 Sistem Antrian.....	15

2.6 Sistem Antrian Gerbang Tol.....	23
2.7 Model Sebaran Pergerakan.....	24
2.8 Sistem Pembayaran pada Gerbang Tol.....	26
2.8.1 Sistem Pembayaran Konvensional	27
2.8.2 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)...	27
2.8.3 Sistem Pembayaran <i>On Board</i> (OBU).....	29
2.9 Kebijakan yang dapat dilakukan.....	30
BAB III METODOLOGI.....	33
3.1 Umum.....	33
3.2 Langkah Penulisan Tugas Akhir.....	33
3.2.1 Identifikasi Masalah	33
3.2.2 Studi Literatur.....	33
3.2.3 Survei dan Pengumpulan Data	34
3.2.4 Rekapitulasi dan Analisis Data.....	34
3.2.5 Pembahasan	35
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	35
3.3 Lokasi dan Waktu Survei	35
3.3.1 Lokasi Survei.....	35
3.3.2 Waktu Penelitian	37
3.4 Alat yang digunakan untuk Pengambilan Data	37
3.5 Bagan Alir (<i>Flow chart</i>)	40
BAB IV PENGUMPULAN dan ANALISIS DATA	41
4.1 Umum.....	41

4.2 Data Primer	41
4.2.1 Waktu Pelayanan.....	41
4.3 Data Sekunder	46
4.3.1 Data Lalu Lintas.....	47
4.3.2 Analisis Data Lalu Lintas Golongan I-V.....	50
4.3.3 Analisis Matriks Asal Tujuan.....	50
4.3.4 Matriks Asal Tujuan Pandaan-Malang.....	51
BAB V ANALISIS dan PEMBAHASAN	55
5.1 Analisis Tingkat Kedatangan	55
5.2 Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol.....	59
5.3 Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang	60
5.4 Analisis Waktu Pelayanan.....	63
5.5 Analisis Intensitas Lalu Lintas	73
5.5.1 Analisis Intensitas Gerbang I (Gerbang Purwodadi)	74
5.5.2 Analisis Intensitas Gerbang II (Gerbang Lawang)	77
5.5.3 Analisis Intensitas Gerbang III (Gerbang Pakis 1)	80
5.5.4 Analisis Intensitas Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)	83
5.5.5 Analisis Intensitas Gerbang V (Gerbang Malang)	86
5.6 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)	89

5.6.1. Analisis Antrian pada Gerbang I (Gerbang Purwodadi)	89
5.6.2 Analisis Antrian pada Gerbang II (Gerbang Lawang).....	92
5.6.3 Analisis Antrian pada Gerbang III (Gerbang Pakis I)	95
5.6.4 Analisis Antrian pada Gerbang IV (Gerbang Pakis 2).....	98
5.6.5 Analisis Antrian pada Gerbang V (Gerbang Malang).....	101
5.7 Perencanaan Gerbang Tol Pandaan-Malang 2030.....	104
5.7.1 Analisis Tingkat Kedatangan.....	108
5.7.2 Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol ...	112
5.7.3 Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang	113
5.7.4 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2030	115
5.7.5 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)	124
5.8 Perencanaan Gerbang Tol Pandaan-Malang 2045.....	133
5.8.1 Analisis Tingkat Kedatangan.....	137
5.8.2 Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol ...	141
5.8.3 Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang	142
5.8.4 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2045	144
5.8.4.1 Analisis Intensitas Gerbang I (Gerbang Purwodadi)	145

5.8.5 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)	160
BAB VI KESIMPULAN dan SARAN.....	177
6.1 Kesimpulan	177
6.2 Saran.....	180
DAFTAR PUSTAKA	181
LAMPIRAN.....	183
BIODATA PENULIS	224

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi	12
Tabel 3. 1 Formulir Waktu Pelayanan.....	38
Tabel 4. 1 Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional	42
Tabel 4. 2 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis.....	44
Tabel 4. 3 Waktu Pelayanan Gardu Tol On Board Unit.....	46
Tabel 4. 4 Data Lalu Lintas Pandaan-Malang	47
Tabel 4. 5 Data Lalu Lintas Malang-Pandaan	48
Tabel 4. 6 Proporsi Golongan Kendaraan I-V	50
Tabel 4. 7 Matriks Asal Tujuan Golongan I.....	52
Tabel 4. 8 Matriks Asal Tujuan Golongan II.....	52
Tabel 4. 9 Matriks Asal Tujuan Golongan III	53
Tabel 4. 10 Matriks Asal Tujuan Golongan IV	53
Tabel 4. 11 Matriks Asal Tujuan Golongan V	54
Tabel 4. 12 Total Matriks Asal Tujuan.....	54
Tabel 5. 1 Faktor K.....	55
Tabel 5. 2 Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2016 ...	56
Tabel 5. 3 Arus Jam Puncak Golongan II pada Tahun 2016 ..	56
Tabel 5. 4 Arus Jam Puncak Golongan III pada Tahun 2016..	57
Tabel 5. 5 Arus Jam Puncak Golongan IV pada Tahun 2016	57
Tabel 5. 6 Arus Jam Puncak Golongan V pada Tahun 2016..	58
Tabel 5. 7 Arus Jam Puncak Total Golongan pada Tahun 2016	58
Tabel 5. 8 Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol pada Golongan I.....	60
Tabel 5. 9 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang.....	61
Tabel 5. 10 Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Pandaan-Malang.....	61
Tabel 5. 11 Ekuivalen Kendaraan Ringan untuk Jalan Bebas Hambatan 4/2.....	62

Tabel 5. 12 Jumlah Kendaraan Masuk ke Gerbang Tol Setelah dihitung dengan EKR.....	63
Tabel 5. 13 Jumlah Kendaraan Keluar dari Gerbang Tol Setelah dihitung dengan EKR	63
Tabel 5. 14 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional.....	64
Tabel 5. 15 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis	67
Tabel 5. 16 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis (2).....	69
Tabel 5. 17 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol On Board Unit.....	71
Tabel 5. 18 Matriks Asal Tujuan Golongan I pada Tahun 2030	105
Tabel 5. 19 Matriks Asal Tujuan Golongan II pada Tahun 2030.....	105
Tabel 5. 20 Matriks Asal Tujuan Golongan III pada Tahun 2030.....	106
Tabel 5. 21 Matriks Asal Tujuan Golongan IV pada Tahun 2030.....	106
Tabel 5. 22 Matriks Asal Tujuan Golongan V pada Tahun 2030.....	107
Tabel 5. 23 Matriks Asal Tujuan Total Golongan pada Tahun 2030.....	107
Tabel 5. 24 Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2030	109
Tabel 5. 25 Arus Jam Puncak Golongan II pada Tahun 2030	109
Tabel 5. 26 Arus Jam Puncak Golongan III pada Tahun 2030	110
Tabel 5. 27 Arus Jam Puncak Golongan IV pada Tahun 2030	110
Tabel 5. 28 Arus Jam Puncak Golongan V pada Tahun 2030	111

Tabel 5. 29 Arus Jam Puncak Total Golongan pada Tahun 2030	111
Tabel 5. 30 Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol Golongan I pada Tahun 2030	113
Tabel 5. 31 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2030.....	114
Tabel 5. 32 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2030.....	114
Tabel 5. 33 Jumlah Kendaraan Masuk ke Gerbang Tol Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2030	115
Tabel 5. 34 Jumlah Kendaraan Keluar dari Gerbang Tol Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2030	115
Tabel 5. 35 Matriks Asal Tujuan Golongan I pada Tahun 2045	134
Tabel 5. 36 Matriks Asal Tujuan Golongan II pada Tahun 2045	134
Tabel 5. 37 Matriks Asal Tujuan Golongan III pada Tahun 2045	135
Tabel 5. 38 Matriks Asal Tujuan Golongan IV pada Tahun 2045	135
Tabel 5. 39 Matriks Asal Tujuan Golongan V pada Tahun 2045	136
Tabel 5. 40 Matriks Asal Tujuan Total Golongan pada Tahun 2045	136
Tabel 5. 41 Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2045	138
Tabel 5. 42 Arus Jam Puncak Golongan II pada Tahun 2045	138
Tabel 5. 43 Arus Jam Puncak Golongan III pada Tahun 2045	139
Tabel 5. 44 Arus Jam Puncak Golongan IV pada Tahun 2045	139
Tabel 5. 45 Arus Jam Puncak Golongan V pada Tahun 2045	140

Tabel 5. 46 Arus Jam Puncak Total Golongan pada Tahun 2045.....	140
Tabel 5. 47 Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol Golongan I pada Tahun 2045	142
Tabel 5. 48 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2045	143
Tabel 5. 49 Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2045	143
Tabel 5. 50 Jumlah Kendaraan Masuk ke Gerbang Tol Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2045.....	144
Tabel 5. 51 Jumlah Kendaraan Keluar dari Gerbang Tol Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2045	144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Jalan Tol Pandaan - Malang.....	5
Gambar 1. 2 Trase Jalan Tol Pandaan-Malang.....	6
Gambar 1. 3 Lokasi Gerbang Tol Pandaan-Malang	6
Gambar 2. 1 Disiplin Antrian First In First Out	19
Gambar 2. 2 Disiplin Antrian Last In First Out.....	20
Gambar 2. 3 Struktur Antrian Single Channel – Single Phase	21
Gambar 2. 4 Struktur Antrian Single Channel – Multi Phase	21
Gambar 2. 5 Struktur Antrian Multi Channel – Single Phase	22
Gambar 2. 6 Struktur Antrian Multi Channel – Multi Phase..	22
Gambar 2. 7 Metode untuk Mendapatkan Matriks Asal-Tujuan (MAT)	26
Gambar 2. 8 Sistem Pembayaran Konvensional (uang tunai)	27
Gambar 2. 9 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)	28
Gambar 2. 10 Gardu Tol Otomatis (GTO)	29
Gambar 2. 11 Perangkat On Board (OBU) dan sistem pembayaran OBU	30
Gambar 2. 12 Ilustrasi Sistem Tandem	31
Gambar 3. 1 Gerbang Tol Cengkareng dengan gardu tol sistem konvensional dan gardu tol otomatis (GTO)	36
Gambar 3. 2 Gerbang tol dengan sistem pembayaran On Board (OBU) pada gerbang tol Cengkareng.	36
Gambar 3. 3 Bagan Diagram Alir (Flow Chart).....	40
Gambar 4. 1 Ilustrasi dan Penjelasan dari Tol Pandaan-Malang	49
Gambar 5. 1 Grafik Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional.....	66
Gambar 5. 2 Grafik Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis...	70
Gambar 5. 3 Grafik Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol On Board Unit	73

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi sangat berpengaruh terhadap perpindahan barang dan jasa sehingga berpengaruh pada peningkatan ekonomi. Pembangunan transportasi di Indonesia saat ini terfokus pada pembangunan di darat. Indonesia mempunyai panjang jalan 517.663 km (Badan Pusat Statistik 2014). Dan pertumbuhan kendaraan di Indonesia mengalami peningkatan pada setiap tahunnya sehingga dibutuhkan fasilitas transportasi seperti jalan tol untuk mengurangi tingkat kemacetan. Pada kota-kota besar banyak pembangunan jalan tol dikarenakan tingkat kemacetan sudah semakin tinggi maka dari itu salah satu solusinya adalah jalan tol.

Presiden dan Wakil Presiden Bapak Joko Widodo dan Bapak Jusuf Kalla mempunyai komitmen dalam pembangunan konektivitas antar wilayah maupun antar pulau sehingga dapat terjadinya pemerataan pembangunan dan mengurangi kesenjangan antar wilayah. Program ini terdapat pada Nawacita (9 agenda prioritas) pada poin ketiga yang berisi “Membangun Indonesia dari pinggiran dengan memperkuat daerah-daerah dan desa dalam kerangka negara kesatuan”. Hal ini diwujudkan dengan adanya pembangunan Jalan Tol Trans Jawa. Jalan Tol Trans Jawa adalah jaringan jalan tol yang menghubungkan kota-kota di Pulau Jawa, jalan tol ini menghubungkan mulai dari Provinsi Banten hingga Kota Banyuwangi Jawa Timur dengan panjang jalan ± 1.200 km. Hingga saat ini jalan tol yang sudah beroperasi sepanjang 516 km.

Kota Malang adalah kota terbesar kedua di Provinsi Jawa Timur setelah Kota Surabaya dengan luas 252.10 km². Perekonomian Kota Malang digerakan oleh beberapa sektor yaitu pertanian, industri, pertambangan dan penggalan, pengolahan listrik gas dan air bersih, bangunan, perdagangan hotel dan

restauran, pengangkutan dan komunikasi, keuangan dan jasa. Untuk memperlancar perpindahan sektor-sektor tersebut dibutuhkan fasilitas transportasi yang memadai dengan kebutuhan perpindahan dari Kota Malang maupun menuju Kota Malang. Selama ini perpindahan barang dan jasa ditopang oleh jalan nasional dan jalan provinsi sehingga menyebabkan kemacetan di jalan-jalan tersebut. Untuk mengurangi kemacetan dibutuhkan fasilitas transportasi yang dapat mengurangi kemacetan di jalan-jalan tersebut. Pembangunan fasilitas transportasi seperti jalan tol dapat berdampak terhadap sektor-sektor tersebut di Pulau Jawa khususnya Jawa Timur. Salah satu jalan tol di dalam Jalan Tol Trans Jawa adalah Jalan Tol Pandaan-Malang. Jalan tol Pandaan-Malang secara total memiliki panjang 37,62 km (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017). Jalan Tol Pandaan-Malang berada di bawah tanggung jawab PT Jasa Marga Pandaan Malang yang merupakan 3 perusahaan yang bekerja sama yaitu PT Jasa Marga, PT Pembangunan Perumahan dan PT Sarana Multi Infrastruktur. Jalan tol Pandaan-Malang terbagi dalam tiga bagian seksi I Kabupaten Pasuruan, Seksi II Kabupaten Malang dan seksi III Kota Malang (Jawa Pos, 2016).

Jalan tol merupakan jalan yang dikhususkan kendaraan dengan minimal 2 gandar (truk, mobil, bis, dll) dan sebelum memasuki jalan tol terdapat gerbang tol untuk membayar biaya masuk ke jalan tol tersebut dengan biaya yang berbeda-beda tiap golongan. Tujuan dibangunnya jalan tol adalah memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang dan meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi. Manfaat yang diberikan jalan tol seperti pengguna jalan tol akan mendapatkan keuntungan berupa penghematan biaya operasi kendaraan dibanding apabila melewati jalan non tol dan meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas orang dan barang (BPJT, 2016)

Di dalam pelaksanaannya jalan tol yang seharusnya jalan bebas hambatan tetapi sering kali terjadi kemacetan dikarenakan panjangnya antrian di gerbang tol dan kurang seimbangnya antara gerbang tol yang dioperasikan dengan jumlah kendaraan yang masuk ke jalan tol. Seharusnya jalan tol dapat mengoptimalkan fungsinya sebagai jalan bebas hambatan dengan salah satu caranya mengoptimalkan fungsi gerbang tol. Dengan tujuan agar perpindahan barang dan jasa tidak terhambat sehingga meningkatkan tingkat perekonomian.

Dengan melihat permasalahan seperti yang dijelaskan di atas, oleh sebab itu dibutuhkan perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan dan panjang antrian berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua gerbang tol direncanakan dengan sistem konvensional dan Gardu Tol Otomatis (GTO) ?
2. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan dan panjang antrian berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua gerbang tol direncanakan dengan sistem konvensional, Gardu Tol Otomatis (GTO), dan *On Board* ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

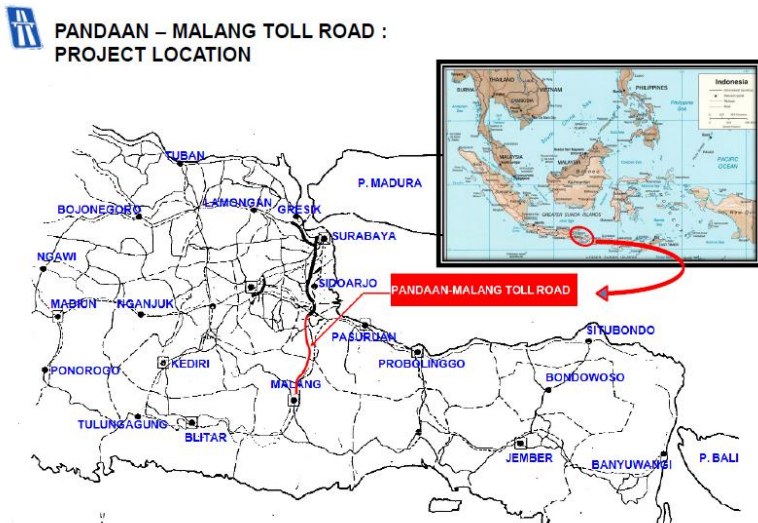
1. Mengetahui jumlah gardu tol Pandaan-Malang dan panjang antrian yang dibutuhkan berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua direncanakan dengan sistem konvensional dan Gardu Tol Otomatis (GTO).
2. Mengetahui jumlah gardu tol Pandaan-Malang dan panjang antrian yang dibutuhkan berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua direncanakan dengan sistem konvensional, Gardu Tol Otomatis (GTO), dan *On Board*

1.4 Batasan Masalah

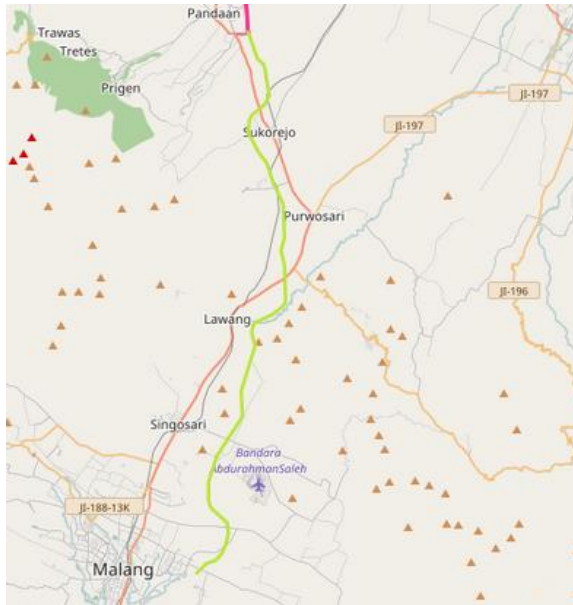
Batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini adalah kendaraan yang ditinjau hanya kendaraan roda 4 atau lebih, tidak memperhitungkan dari segi ekonomi maupun dari segi finansial, tidak memperhitungkan geometrik jalan tol, dan tidak memperhitungkan perilaku pengendara. Untuk gerbang tol Pandaan tidak dianalisis karena diasumsikan tol Gempol-Pandaan akan terintegrasi dengan tol Pandaan-Malang.

1.5 Lokasi Studi

Lokasi yang ditinjau dalam tugas akhir ini terletak di jalan tol Pandaan – Malang, dan yang menjadi lokasi studi merencanakan gerbang tol Pandaan – Malang. Gambar 1.1 adalah lokasi dari jalan tol Pandaan-Malang, Gambar 1.2 adalah trase dari jalan tol Pandaan-Malang, dan gambar 1.3 lokasi dari gerbang tol Pandaan-Malang.

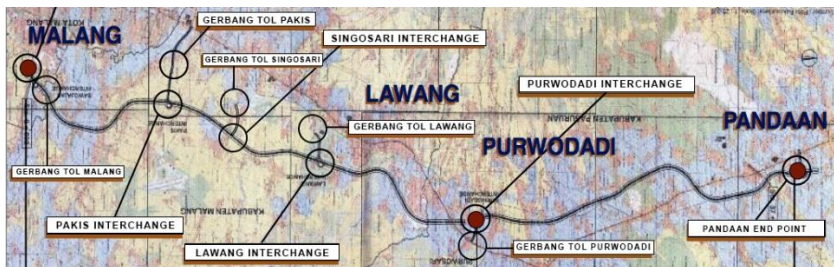


Gambar 1. 1 Lokasi Jalan Tol Pandaan - Malang
(Sumber : Toll Road Investment)



Gambar 1. 2 Trase Jalan Tol Pandaan-Malang

(Sumber : <http://bpjt.pu.go.id/gisbpjt/>)



Gambar 1. 3 Lokasi Gerbang Tol Pandaan-Malang

(Sumber : Toll Road Investment)

Keterangan :

1. Gerbang Tol Purwodadi (Jalan Raya Surabaya Malang dekat Kebun Raya Purwodadi)
2. Gerbang Tol Lawang (Jalan Dr.Cipto dekat RS Lawang Medika)
3. Gerbang Tol Pakis 1 (Jalan Raya Karanglo dekat Solaris Hotel Malang)
4. Gerbang Tol Pakis 2 (Jalan Ampeldento Pakis dekat Perumahan Saptoraya)
5. Gerbang Tol Malang (Jalan Madyopuro Kota Malang dekat Pasar Madyopuro)

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan gambaran dalam menentukan jumlah gerbang tol yang optimal sesuai dengan tingkat kedatangan kendaraan.
2. Sebagai referensi untuk mahasiswa, PT. Jasa Marga, Pemerintah dan pihak lain yang berencana melakukan perencanaan gerbang tol di kemudian hari.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka berupa mencari dan membaca bahan-bahan penelitian yang memuat teori-teori sesuai dengan penelitian dan menyusun kerangka pemikiran yang akan dilakukan dalam penelitian. Tinjauan pustaka bertujuan untuk merangkum pengetahuan yang berkaitan dengan penelitian.

2.2 Pengertian, Tujuan, dan Manfaat Jalan Tol

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 38 tahun 2004 Pasal 1 ayat 7, pengertian dari jalan tol adalah “jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol”. Pada Pasal 1 poin Poin 8 Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol.

Tujuan jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah :

1. Memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang.
2. Meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi.
3. Meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan.
4. Meringankan beban dan Pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan.

Manfaat jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah :

1. Pembangunan jalan tol akan berpengaruh pada perkembangan wilayah & peningkatan ekonomi.
2. Meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas orang dan barang.
3. Pengguna jalan tol akan mendapatkan keuntungan berupa penghematan biaya operasi kendaraan (BOK) dan waktu dibanding apabila melewati jalan non tol.
4. Badan usaha mendapatkan pengembalian investasi melalui pendapatan tol yang tergantung kepastian tarif tol.

2.2.1 Persyaratan Jalan Tol

Dalam perencanaan sudah semestinya dibutuhkan persyaratan yang dapat mendukung kebermanfaatan dan pelaksanaannya. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 15 tahun 2005 tentang jalan tol pada pasal 6 jalan tol harus mempunyai spesifikasi :

1. Tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya;
2. Jumlah jalan masuk dan jalan keluar ke dan dari jalan tol dibatasi secara efisien dan semua jalan masuk dan jalan keluar harus terkendali secara penuh;
3. Jarak antarsimpang susun, paling rendah 5 (lima) kilometer untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 (dua) kilometer untuk jalan tol dalam perkotaan;
4. Jumlah lajur sekurang-kurangnya dua lajur per arah;
5. Menggunakan pemisah tengah atau median; dan
6. Lebar bahu jalan sebelah luar harus dapat dipergunakan sebagai jalur lalu-lintas sementara dalam keadaan darurat.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 15 tahun 2005 tentang jalan tol pasal 5 jalan tol mempunyai syarat teknis seperti berikut :

1. Jalan tol mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi.
2. Jalan tol yang digunakan untuk lalu lintas antar kota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 (delapan puluh) kilometer per jam, dan untuk jalan tol di wilayah perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam.
3. Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 (delapan) ton.
4. Setiap ruas jalan tol harus dilakukan pemagaran, dan dilengkapi dengan fasilitas penyebrangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan.
5. Pada tempat-tempat yang dapat membahayakan pengguna jalan tol, harus diberi bangunan pengaman yang mempunyai kekuatan dan struktur yang dapat menyerap energi benturan kendaraan.
6. Setiap jalan tol wajib dilengkapi dengan aturan perintah dan larangan yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas, marka jalan, dan/atau alat pemberi isyarat lalu lintas.
7. Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) dilaksanakan berdasarkan ketentuan peraturan lalu lintas dan angkutan jalan.
8. Ketentuan persyaratan teknik sebagaimana dimaksud pada ayat (1), ayat (2), ayat (3), ayat (4), dan ayat (5) diatur lebih lanjut peraturan Menteri.

2.3 Jenis Kendaraan pada Jalan Tol

Beberapa jenis kendaraan yang diperbolehkan memasuki jalan tol menurut Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 370/KPTS/M/2007 tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol Yang Sudah Beroperasi Dan Besarnya Tarif Tol Pada Beberapa Ruas Jalan Tol sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi

GOLONGAN	Jenis Kendaraan
Golongan I	Sedan, Jip, Pick Up/Truk Kecil, dan Bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih

Sumber : Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 370/KPTS/M/2007

2.4 Perencanaan Gerbang Tol

2.4.1 Kriteria Umum

Menurut Standar Konstruksi dan Bangunan No 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga poin 8.3.1 mengenai kriteria umum gerbang tol yang harus direncanakan sebagai berikut:

1. Bentuk konstruksi atap dan tinggi minimum gerbang tol dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai ruang bebas pada lajur lalu lintas dengan tinggi minimum 5,10 m.
2. Lebar atap gerbang tol minimum 13 m dan bentuk listplanknya dibuat sedemikian sehingga memungkinkan

pemasangan lampu lalu lintas ataupun *lane indicator*. Penempatan kolom gerbang harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu pandangan bebas pengumpul tol ke arah datangnya kendaraan dan kebutuhan akan ruang gerak memadai bagi karyawan gerbang dalam melaksanakan tugasnya di gerbang tol.

3. Untuk gerbang tol dengan jumlah lajur lebih dari 10 lajur (9 pulau tol) diharuskan dilengkapi dengan terowongan penghubung antar gardu dan ke kantor gerbang untuk keselamatan dan keamanan pengumpul tol yang sekaligus menampung utilitas.
4. Penempatan lampu pada atap gerbang agar dibuat sedemikian hingga tidak menyilaukan pengumpul tol untuk melihat kendaraan yang datang serta tidak mengganggu fungsi *lane indicator*.

2.4.2 Jumlah Kebutuhan Gardu Tol

Dalam menentukan faktor jumlah kebutuhan gardu tol terdapat pada Standar Konstruksi dan Bangunan No 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga poin 8.3.4 sebagai berikut :

1. Volume lalu lintas
2. Waktu pelayanan di gardu tol
3. Standar pelayanan (jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan)

Volume lalu lintas diukur berdasarkan jumlah kendaraan yang melewati titik tertentu selama selang waktu tertentu. Dalam beberapa hal, lalu-lintas dinyatakan dengan “Lalu-lintas Harian Rata-rata per Tahun” yang disebut AADT (*average annual daily traffic*) atau Lalu-lintas Harian Rata-rata per Tahun (LHR) bila periode pengamatannya kurang dari satu tahun. (Teknik Jalan Raya Jilid I, Erlangga, Jakarta, 1990). “Volume lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dihitung dari jumlah arus lalu lintas

dalam setahun dibagi jumlah hari dalam tahun tersebut (365 hari, kendaraan/hari)” (PKJI,2014)

Waktu pelayanan adalah waktu yang diberikan dalam melayani jasa dengan waktu yang cepat dan tepat agar penerima jasa merasa puas. Waktu pelayanan dipengaruhi oleh kemampuan peralatan tol maupun keterampilan dan kesiapan petugas tol dan pemakai jalan. Besarnya waktu pelayanan tersebut sebagai berikut :

1. Gerbang tol sistem terbuka : maksimal 6 detik setiap kendaraan
2. Gerbang tol sistem tertutup
 - a. Gardu masuk : maksimal 5 detik setiap kendaraan
 - b. Gardu keluar : maksimal 9 detik setiap kendaraan
3. Gardu tol otomatis
 - a. Gardu tol ambil kartu : maksimal 4 detik setiap kendaraan
 - b. Gardu tol transaksi : maksimal 5 detik setiap kendaraan

(Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol)

Standar pelayanan minimum (jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan) menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol maksimal 10 kendaraan per Gardu dalam kondisi normal. Menurut BPJT kapasitas gardu tol < 450 kendaraan per jam per Gardu (bpjt.pu.go.id,2016). Kapasitas gerbang tol adalah nilai maksimum dari jumlah kendaraan yang memasuki suatu gerbang tol dalam waktu tertentu.

2.5 Teori Antrian

Menurut Siagian (1987), antrian adalah suatu garis tunggu dari nasabah (satu) yang memerlukan layanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan). Timbulnya antrian dikarenakan tingkat pelayanan yang tinggi dan melebihi kapasitas pelayanan. Lamanya waktu menunggu (*waiting time*) bergantung pada tingkat pelayanan (*rate of services*). Contoh antrian yang terjadi disekitar kita seperti panjangnya antrian yang mengantri untuk mendapatkan tiket bioskop, tiket kereta api. Tujuan teori antrian ialah merencanakan fasilitas pelayanan untuk mengatasi permintaan pelayanan yang berbeda beda setiap waktu.

2.5.1 Sistem Antrian

Pengertian dari sistem antrian adalah suatu himpunan pelanggan, pelayanan (loket) serta suatu aturan yang mengatur kedatangan pelanggan dan pemrosesan masalah pelayanan antrian dimana dicirikan oleh 5 buah komponen, yaitu pola kedatangan para pelanggan, pola pelayanan, jumlah pelayanan, kapasitas fasilitas untuk menampung para pelanggan dan aturan dalam mana para pelanggan dilayani. (*Pangestu,dkk. 2000*).

Tiga komponen dalam sistem antrian yaitu :

1. Populasi dan cara kedatangan pelanggan datang ke dalam sistem
2. Sistem pelayanan antrian
3. Kondisi pelanggan saat keluar system

2.5.1.1 Populasi dan Cara Kedatangan Pelanggan

Populasi yang dimaksud dalam sistem antrian dapat dilihat menurut ukurannya, pola kedatangan, serta perilaku dari populasi yang akan dilayani seperti mobil, orang, dan lain-lain. Populasi yang akan dilayani mempunyai perilaku yang berbeda, ada 3 (tiga) jenis perilaku : *Reneging*, *Balking*, dan *Jockeying*. *Reneging* seseorang masuk dalam antrian, *Balking* seseorang yang tidak

masuk dalam antrian dan langsung meninggalkan tempat antrian, *Jockeying* orang yang pindah-pindah antrian.

Distribusi kedatangan bisa teratur tetap dalam satu periode artinya kedatangan pelanggan dalam antrian dengan pelanggan memiliki waktu yang sama. Kedatangan yang teratur disekitar kita dikendalikan oleh mesin. Pola kedatangan yang sifatnya acak dapat digambarkan dengan distribusi statistik dan dapat ditentukan dengan distribusi poisson. Distribusi poisson adalah distribusi peluang acak poisson X , yang menyatakan banyaknya sukses yang terjadi dalam suatu selang waktu atau daerah tertentu (Walpole,1995). Ciri-ciri distribusi poisson menurut (Walpole,1995) seperti berikut :

1. Banyaknya hasil percobaan yang terjadi dalam suatu interval waktu atau suatu daerah tertentu tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi pada interval waktu atau daerah lain yang terpisah.
2. Probabilitas terjadinya hasil percobaan selama suatu interval waktu yang singkat atau dalam suatu daerah yang kecil, sebanding dengan panjang interval waktu atau besarnya daerah tersebut dan tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi di luar interval waktu atau daerah tersebut.
3. Probabilitas lebih dari satu hasil percobaan yang terjadi dalam interval waktu yang singkat atau dalam daerah yang kecil dapat diabaikan.
4. Probabilitas n kedatangan dalam waktu T ditentukan dengan rumus:

$$P(n, T) = \frac{e^{-\lambda T} (\lambda T)^n}{n!} \quad n = 0, 1, 2, .. \quad (2.1)$$

Dimana:

$P(n, T)$ = Probabilitas n kedatangan dalam waktu

λ = Rata-rata kedatangan per satuan waktu

T = Periode waktu
 e = bilangan natural ($e = 2,718$)
 n = jumlah kendaraan dalam waktu t ; ($n=0,1,2, \dots$)

Jika kedatangan mengikuti Distribusi Poisson dapat ditunjukkan secara matematis bahwa antar kedatangan akan terdistribusi sesuai dengan distribusi eksponensial.

$$P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad 0 \leq t \leq \infty \quad (2.2)$$

Dimana:

$P(T \leq t)$ = Probabilitas di mana waktu antar kedatangan $T \leq$ persatuan waktu

λ = Rata-rata kedatangan persatuan waktu

t = Suatu waktu tertentu

Kedatangan pelanggan dalam sistem antrian untuk beberapa kasus dapat dikendalikan misalnya kedatangan dikendalikan dengan cara memberikan potongan pada hari-hari tertentu yang sepu dengan maksudn menggiring pelanggan untuk datang pada jam sepi, memberikan harga tinggi pada sesi-sesi padat agar pelanggan tergiring datang pada hari lain yang lebih murah.

Tingkat kesabaran pelanggan dalam antrian dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu :

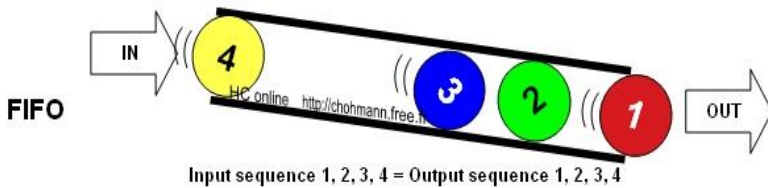
1. Kedatangan yang sabar, seseorang yang bersedia menunggu hingga dilayani terlepas apakah mereka menunjukkan perilaku tidak sabar seperti menggerutu atau mengomel tetapi tetap menunggu dalam antrian.
2. Kedatangan yang tidak sabar, kedatangan yang tidak sabar dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori. Kategori yang pertama adalah orang yang datang melihat-lihat fasilitas layanan dan panjang antrian lalu memutuskan meninggalkan sistem. Kategori yang kedua adalah orang yang datang, melihat fasilitas

layanannya, bergabung dalam antrian dan untuk beberapa lama kemudian meninggalkan sistem.

2.5.1.2 Sistem Pelayanan Antrian

Garis antrian atau baris tunggu, terdapat faktor-faktor yang terkait dengan garis antrian yaitu panjang antrian, jumlah antrian, dan disiplin antrian.

1. Panjang antrian
Panjang antrian dapat dikelompokkan menjadi dua, pertama panjang kapasitas antrian yang potensial tak terbatas contoh : panjang antrian membeli tiket kereta api di loket. Kedua panjang kapasitas antrian yang terbatas baik karena ketentuan peraturan contoh : tempat parkir.
2. Jumlah antrian
Jumlah antrian dapat dikelompokkan menjadi dua. Pertama antrian tunggal, hanya ada satu fasilitas layanan untuk melayani antrian. Kedua antrian berganda, beberapa fasilitas layanan di depan antrian.
3. Disiplin antrian
Disiplin antrian adalah aturan keputusan yang menjelaskan cara melayani pengantri, menurut (Siagian,1987) terdapat 5 bentuk disiplin antrian yang dapat digunakan yaitu :
 - a. *First Come First Served* atau *First In First Out* (FIFO) maksudnya adalah pengantri yang datang lebih dulu datang, lebih dulu dilayani. Contoh antrian pada loket pembelian tiket kereta api.



Gambar 2. 1 Disiplin Antrian First In First Out
 (Sumber : <http://chohmann.free.fr/SCM/fifo.htm>)

Perhitungan analisis antrian FIFO sebagai berikut :

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (2.3)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (2.4)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (2.5)$$

$$\bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \quad (2.6)$$

Dimana :

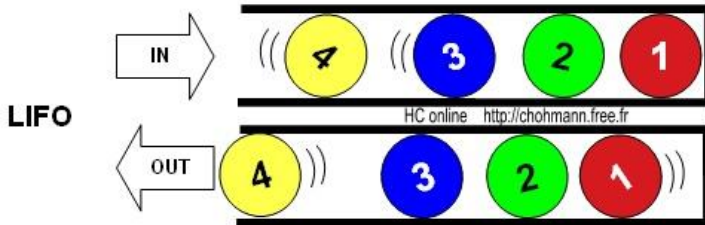
\bar{n} = jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem
 (kendaraan/satuan waktu)

\bar{q} = jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian
 (kendaraan/satuan waktu)

\bar{d} = waktu rata-rata kendaraan dalam sistem (satuan waktu)

\bar{w} = waktu rata-rata kendaraan dalam antrian (satuan waktu)

- b. *Last Come First Served (LCFS)* atau *Last In First Out (LIFO)* maksudnya adalah pengantri yang tiba terakhir, lebih dulu keluar. Contoh sistem antrian dalam elevator untuk lantai yang sama.



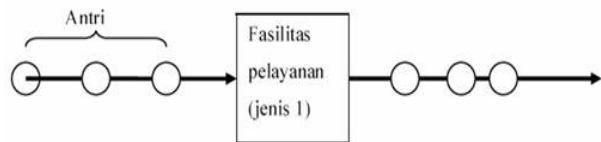
Input sequence 1, 2, 3, 4 ≠ Output sequence 4, 3, 2, 1

Gambar 2. 2 Disiplin Antrian Last In First Out

(Sumber : <http://chohmann.free.fr/SCM/fifo.htm>)

- c. *Service In Random Order (SIRO)* maksudnya adalah panggilan didasarkan pada peluang secara random.
- d. *Priority Service (PS)* maksudnya adalah prioritas pelayanan diberikan kepada pelanggan yang mempunyai prioritas lebih tinggi dibandingkan dengan pelanggan lain.

4. Struktur antrian adalah simulasi keadaan antrian di dunia nyata. Berikut ini adalah struktur antrian menurut (Kakiy,2004) dan (Pangestu,dkk.2000) :
- Single Channel – Single Phase* maksudnya adalah hanya ada satu jalur yang memasuki pelayanan atau hanya ada satu pelayanan. Sebagai contoh *supermarket* yang hanya memiliki satu kasir.

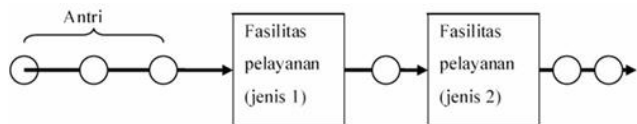


Gambar 2. 3 Struktur Antrian Single Channel – Single Phase

(Sumber :

<https://sites.google.com/site/operasiproduksi/teori-antrian>)

- Single Channel – Multi Phase* maksudnya adalah terdapat dua atau lebih pelayanan yang dilaksanakan secara berurutan. Sebagai contoh pencucian mobil.

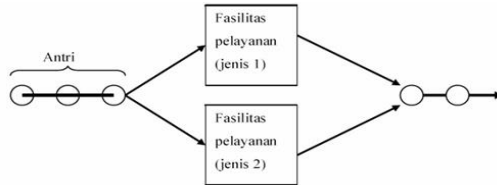


Gambar 2. 4 Struktur Antrian Single Channel – Multi Phase

(Sumber :

<https://sites.google.com/site/operasiproduksi/teori-antrian>)

- c. *Multi Channel – Single Phase* maksudnya adalah terdapat dua atau lebih fasilitas pelayanan yang dialiri oleh antrian tunggal. Sebagai contoh *teller* sebuah *bank*.

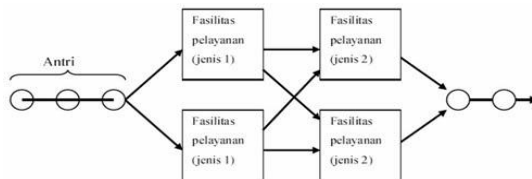


Gambar 2. 5 Struktur Antrian Multi Channel – Single Phase

(Sumber :

<https://sites.google.com/site/operasiproduksi/teori-antrian>)

- d. *Multi Channel – Multi Phase* maksudnya adalah terdapat dua atau lebih fasilitas pelayanan yang dialiri lebih dari satu pelanggan dan dapat dilayani pada waktu bersamaan. Sebagai contoh registrasi ulang mahasiswa baru pada sebuah universitas.



Gambar 2. 6 Struktur Antrian Multi Channel – Multi Phase

(Sumber :

<https://sites.google.com/site/operasiproduksi/teori-antrian>)

2.6 Sistem Antrian Gerbang Tol

Sistem antrian pada gerbang tol adalah *single channel single phase*. Menurut (Kakiay,2004) *single channel* adalah hanya ada satu jalur yang memasuki sistem pelayanan atau fasilitas pelayanan sedangkan *single phase* adalah hanya ada satu pelayanan sistem. Setelah mendapatkan pelayanan individu-individu dalam hal ini adalah kendaraan yang dapat memasuki jalan tol keluar dari pelayanan.

Asumsi yang sering digunakan dalam struktur antrian *single channel single phase* menurut (Render & Heizer,2008) seperti berikut :

1. Kedatangan dilayani berdasarkan antrian first come first served (FCFS) dan setiap konsumen yang datang menanti gilirannya untuk dilayani tanpa memperhatikan panjangnya antrian.
2. Kedatangan tidak tergantung pada kedatangan sebelumnya dan rata-rata tingkat kedatangan tidak berubah setiap waktunya.
3. Kedatangan mengikuti distribusi *poisson* dan berasal dari sumber yang tidak terbatas.
4. Waktu pelayanan bervariasi antara konsumen yang satu dengan konsumen yang lainnya serta tidak bergantung satu sama lain tetapi rata-rata tingkat pelayanan diketahui.
5. Waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial negatif.
6. Rata-rata tingkat pelayanan lebih cepat daripada rata-rata tingkat kedatangan.

Waktu antar kedatangan tiap kendaraan yang diperbolehkan memasuki jalan tol dilambangkan dengan simbol μ dan untuk tingkat pelayanan/jumlah kendaraan yang dapat terlayani oleh satu sistem pelayanan dalam satuan waktu tertentu diasumsikan

berdistribusi eksponensial, untuk waktu pelayanan (WP) dapat diperoleh melalui :

$$WP = 1/\mu \quad (2.7)$$

Perbandingan antara waktu antar kedatangan dengan tingkat pelayanan dengan persyaratan bahwa nilai tersebut harus kurang dari 1, karena jika nilai tersebut lebih dari 1 menunjukkan bahwa tingkat antar kedatangan selalu lebih besar dari tingkat pelayanan dilambangkan dengan ρ . Dan dapat diperoleh melalui :

$$\rho = \lambda / WP \quad (2.8)$$

Jika intensitas lalu lintas lebih besar daripada 1 ($\rho > 1$), maka hanya dapat dipecahkan dengan pendekatan proses antrian deterministik atau dengan melakukan penyesuaian dengan beberapa waktu pelayanan, variasi tingkat kedatangan rata-rata dan waktu pelayanan rata-rata atau dengan cara terakhir yaitu dengan cara simulasi mikroskopik (*May, 1990:361*).

2.7 Model Sebaran Pergerakan

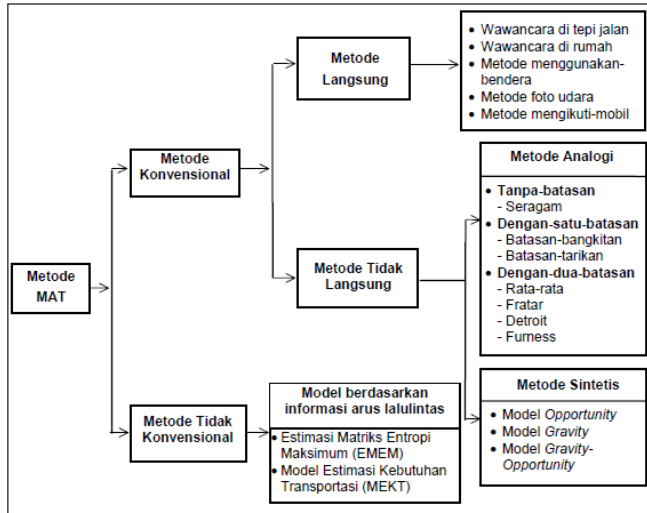
Pergerakan dalam sistem transportasi dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan (kendaraan, penumpang, dan barang) yang bergerak dari zona asal ke zona tujuan di dalam daerah tertentu dan selama periode waktu tertentu. Matriks Asal Tujuan (MAT) atau Matriks Pergerakan sering digunakan untuk menggambarkan pola pergerakan tersebut. (*Perencanaan dan Permodelan Transportasi, Tamin, tahun : halaman*)

Matriks Asal Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antarlokasi (zona) di dalam daerah tertentu. Baris menyatakan zona asal dan kolom menyatakan zona tujuan, sehingga sel matriksnya menggambarkan besarnya arus dari zona asal ke zona tujuan. Berikut beberapa fungsi Matrik Asal Tujuan (MAT) :

1. Pemodelan kebutuhan akan transportasi untuk daerah pedalaman atau antarkota
2. Pemodelan kebutuhan akan transportasi untuk daerah perkotaan
3. Pemodelan dan perancangan manajemen lalu lintas baik di daerah perkotaan maupun antarkota
4. Pemodelan kebutuhan akan transportasi di daerah yang ketersediaan datanya tidak begitu mendukung baik dari sisi kuantitas maupun kualitas (misalnya di negara sedang berkembang)
5. Perbaikan data MAT pada masa lalu dan pemeriksaan MAT yang dihasilkan oleh metode lainnya
6. Pemodelan kebutuhan akan transportasi antarkota untuk angkutan barang multi-moda

Untuk mendapatkan MAT dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama, yaitu metode konvensional dan metode tidak konvensional (*Tamin, 2003*).

Gambar dibawah ini menunjukan metode-metode untuk mendapatkan Matriks Asal – Tujuan :



Gambar 2. 7 Metode untuk Mendapatkan Matriks Asal-Tujuan (MAT)

(Sumber : *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Tamin, 2000*)

2.8 Sistem Pembayaran pada Gerbang Tol

Gerbang tol terdapat berbagai macam sistem pembayaran seperti sistem konvensional, gardu tol otomatis, dan *On Board*. Sistem ini dibuat untuk memudahkan pembayaran pada gerbang tol itu sendiri selain itu juga untuk mempercepat waktu pelayanan.

2.8.1 Sistem Pembayaran Konvensional

Gerbang tol dengan sistem pembayaran konvensional adalah gerbang tol yang sistem pembayarannya menggunakan uang dan bertransaksi dengan loket yang dijaga oleh petugas. Gerbang tol dengan sistem pembayaran konvensional sangat banyak di Indonesia karena sistem pembayaran konvensional sangat sederhana dalam bertransaksi. Gambar dibawah ini adalah contoh pembayaran di gardu tol dengan sistem konvensional.



Gambar 2. 8 Sistem Pembayaran Konvensional (uang tunai)
(Sumber : <http://www.republika.co.id/berita/ramadhan/info-mudik/16/06/13/o8pnq1408-untuk-cegah-kemacetan-pemudik-diminta-bertransaksi-dengan-uang-pas-dan-etoll>)

2.8.2 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)

Gerbang tol dengan sistem pembayaran gardu tol otomatis (GTO) adalah gerbang tol yang sistem pembayarannya menggunakan kartu yang sebelumnya telah diisi uang sebelumnya dan cara pembayaran hanya disentuh di mesin GTO dan palang penghalang akan terbuka. Sistem pembayaran seperti sedang ditingkatkan oleh pemerintah karena dengan cara ini waktu pelayanan lebih cepat dibanding dengan sistem konvensional. Berikut adalah gambar pembayaran di gardu tol otomatis (GTO).



Gambar 2. 9 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)

(Sumber :

<http://assets.kompasiana.com/statics/crawl/559f534624a9d508798b4568.jpeg?t=o&v=700>)

Gambar dibawah ini adalah gardu tol otomatis, sebelum memasuki gardu tol otomatis terdapat papan informasi bahwa gardu tol otomatis ini tidak diperbolehkan masuk bagi yang tidak punya kartu untuk transaksi di gardu tol otomatis dan terdapat tinggi maksimum 2,1 meter.



Gambar 2. 10 Gardu Tol Otomatis (GTO)

(Sumber :

https://pastipajak.files.wordpress.com/2016/09/880831_11171814072016_115107013.jpg)

2.8.3 Sistem Pembayaran *On Board* (OBU)

Gerbang tol dengan sistem pembayaran *On Board* (OBU) adalah gerbang tol dengan sistem pembayaran dengan menggunakan perangkat OBU yang diletakkan di dalam kendaraan dan gerbang tol tersebut akan memindai perangkat OBU sehingga pengguna gerbang tol ini tidak harus membuka kaca jendela dan *tap* kartu *e-Toll* untuk bertransaksi. Perangkat OBU adalah perangkat transmitter yang dipasang didalam kendaraan dan berfungsi untuk memancarkan sinyal elektronik yang akan dibaca oleh *receiver* yang ada di Gerbang Tol Otomatsi (GTO) dan akan langsung membuka palang penghalang (*barier*) (Jasamarga.com 20/01/2017). Perangkat OBU ini dijual dengan harga Rp. 965.000,- sudah termasuk *e-Toll Card* berisi nominal Rp. 300.000,- yang siap untuk digunakan (Jasamarga.com 20/01/2017). Gambar dibawah

ini adalah gambar perangkat OBU dan sistem pembayaran *On Board* (OBU).



Gambar 2. 11 Perangkat On Board (OBU) dan sistem pembayaran OBU

(Sumber :

<http://www.jasamarga.com/images/stories/artikel/info%20tol%20obu.jpg>)

2.9 Kebijakan yang dapat dilakukan

Dalam usaha untuk merencanakan gerbang tol yang optimum terdapat beberapa kebijakan yang dapat dilakukan menurut buku Perencanaan dan Pemodelan Transportasi Ofyar Z Tamin halaman 308, yaitu :

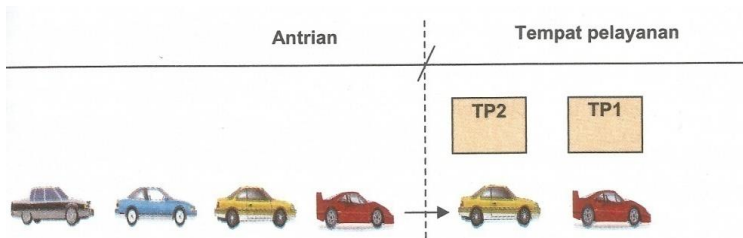
1. Kebijakan menambah pintu tol
2. Kebijakan mengurangi waktu pelayanan, dan
3. Kebijakan sistem tandem

Kebijakan menambah pintu tol adalah kebijakan yang melakukan penambahan pintu tol seperti menambah lahan baru

untuk pintu tol, menambah pekerja dari pintu tol, dan menambah bangunan dan peralatan dari pintu tol sehingga kebijakan ini membutuhkan biaya besar.

Kebijakan mengurangi waktu pelayanan adalah kebijakan yang tidak membutuhkan biaya besar, tetapi kebijakan ini hanya dapat meminimalkan waktu pelayanan tidak dapat menghilangkan waktu pelayanan.

Kebijakan sistem tandem adalah kebijakan untuk meningkatkan kinerja dari pintu tol dikarenakan dapat menurunkan waktu pelayanan hingga 50%. Gambar dibawah ini menggambarkan bagaimana proses antrian.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Sistem Tandem

(Sumber : *Perencanaan Permodelan, & Rekayasa Transportasi*, 2008)

Tanpa sistem tandem pintu tol hanya dapat melayani 1 (satu) kendaraan dalam satuan waktu, namun apabila dengan sistem tandem pintu tol dapat melayani 2 (dua) kendaraan dalam satuan waktu. Sehingga kebijakan ini dapat menurunkan waktu pelayanan, tetapi syarat sistem tandem ini waktu pelayanan harus sama apabila tidak sama malah akan meningkatkan waktu pelayanan karena salah satu kendaraan akan menunggu kendaraan lainnya karena perbedaan waktu pelayanan.

Urutan prioritas untuk pengambilan kebijakan yang dapat dilakukan untuk merencanakan gerbang tol yang optimum adalah :

1. Kebijakan meminumkan waktu pelayanan
2. Kebijakan menambah pintu tol
3. Kebijakan sistem tandem. Harus butuh kehati-hatian karena jika waktu pelayanan berbeda maka akan mempunyai kinerja yang jauh lebih jelek dibanding dengan sistem *single*

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang langkah-langkah yang akan dilakukan selama penulisan Tugas Akhir.

3.2 Langkah Penulisan Tugas Akhir

Adapun langkah-langkah dalam penulisan tugas akhir perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah
2. Studi Literatur
3. Survei dan Pengumpulan Data
4. Rekapitulasi dan Analisis Data
5. Pembahasan
6. Kesimpulan dan Saran

3.2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah tahapan awal yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir. Di dalam tahap ini meninjau kondisi lapangan dan permasalahan yang terjadi, identifikasi masalah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah peninjauan langsung kondisi lapangan di jalan tol Pandaan-Malang lalu merangkum permasalahan yang terdapat dalam gerbang tol Pandaan-Malang.

3.2.2 Studi Literatur

Pada tahap ini studi literatur yang dimaksud adalah melakukan pembelajaran dari literatur-literatur yang menunjang pengerjaan tugas akhir tentang Perencanaan Gerbang Tol Pandaan-Malang. Literatur-literatur yang ada bisa berupa jurnal-jurnal ilmiah internasional maupun nasional, buku, peraturan-peraturan

yang membahas tentang perencanaan gerbang tol, tugas akhir yang berkaitan dengan perencanaan gerbang tol, dan lain-lain.

3.2.3 Survei dan Pengumpulan Data

Survei dan pengumpulan data adalah melakukan observasi yang dilakukan di jalan arteri maupun jalan provinsi sekitar jalan tol Pandaan-Malang. Survei yang dilakukan adalah menghitung jumlah kendaraan yang datang. Pada tahap pengumpulan data dapat dilakukan di Dinas Perhubungan, PT. Jasamarga, dan Instansi-instansi terkait. Dalam pengumpulan data terdiri dari 2 (dua) jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Berikut adalah data-data yang akan dikumpulkan :

1. Data Primer

Data primer data yang didapatkan langsung dari lapangan dengan cara survei lapangan. Data yang dibutuhkan antara lain : Survei Waktu Pelayanan Gerbang Tol. Untuk mengetahui waktu pelayanan di lapangan dan dibandingkan dengan peraturan yang ada. Survei akan dilaksanakan di Gerbang Tol Cengkareng

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang telah ada atau data-data yang tidak berhubungan langsung terhadap objek penelitian. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi yang bersangkutan dengan penyusunan tugas akhir. Data yang dibutuhkan antara lain :

- a. Data-data teknis trase jalan tol dan lokasi gerbang tol. Untuk mengetahui titik-titik rencana jalan tol dan gerbang tol Pandaan-Malang
- b. Pembebanan Volume Kendaraan. Untuk direncanakan sebagai Matriks Asal-Tujuan.

3.2.4 Rekapitulasi dan Analisis Data

Tahap rekapitulasi dan analisis data adalah tahap dimana data diolah dari pengumpulan data yang sudah ada untuk

menganalisis objek penelitian. Data volume kendaraan yang datang digunakan untuk perhitungan tingkat kedatangan, panjang antrian, dan lain-lain.

3.2.5 Pembahasan

Pada tahap ini adalah membahas perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang seperti tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, panjang antrian, dan jumlah gerbang tol yang optimal dengan meninjau sistem gerbang tol konvensional, gerbang tol otomatis (GTO), *On Board*.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah mengolah data maka dapat memberikan kesimpulan dan saran terkait dengan perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang. Hasil dari penulisan ini dapat dijadikan sebagai referensi atau acuan bagi PT.Jasamarga selaku operator untuk memperhitungkan kebutuhan gerbang tol Pandaan-Malang

3.3 Lokasi dan Waktu Survei

3.3.1 Lokasi Survei

Penelitian dilaksanakan pada jalan tol Pandaan-Malang. Untuk survei waktu pelayanan dilakukan di gerbang tol Cengkareng karena pada gerbang tol cengkareng terdapat gardu tol dengan sistem konvensional, gardu tol otomatis (GTO), dan *On Board* (OBU) sehingga memudahkan sewaktu survei karena hanya 1 gerbang tol didapatkan waktu pelayanan dari 3 sistem pembayaran yang ada diperencanaan.

Gambar dibawah ini adalah gambar dari gerbang tol Cengkareng terdapat gerbang tol dengan sistem konvensional, gardu tol otomatis (GTO), dan *On Board* (OBU).



Gambar 3. 1 Gerbang Tol Cengkareng dengan gardu tol sistem konvensional dan gardu tol otomatis (GTO)
(Sumber :Dokumen Pribadi 8/1/2017)



Gambar 3. 2 Gerbang tol dengan sistem pembayaran On Board (OBU) pada gerbang tol Cengkareng.

(Sumber :
http://bumn.go.id/data/uploads/content/120/IMG_8216.jpg*)*

3.3.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini melakukan survei di lapangan untuk mendapatkan volume kendaraan yang datang. Penelitian ini akan dilakukan pada tanggal 2 Maret 2017.

3.4 Alat yang digunakan untuk Pengambilan Data

Peralatan yang dibutuhkan dalam pengambilan data primer adalah :

- a) Pengukur waktu (jam tangan/*StopWatch*)
Untuk menghitung durasi waktu
- b) Alat tulis dan formulir survei
 - Formulir Waktu Pelayanan

Formulir ini digunakan untuk mencatat waktu pelayanan dari tiap gardu-gardu tol yang ada pada Gerbang Tol Cengkareng. Tabel dibawah ini adalah tabel dari formulir waktu pelayanan Gerbang Tol Cengkareng.

Tabel 3. 1 Formulir Waktu Pelayanan

Jenis gardu :

Waktu :

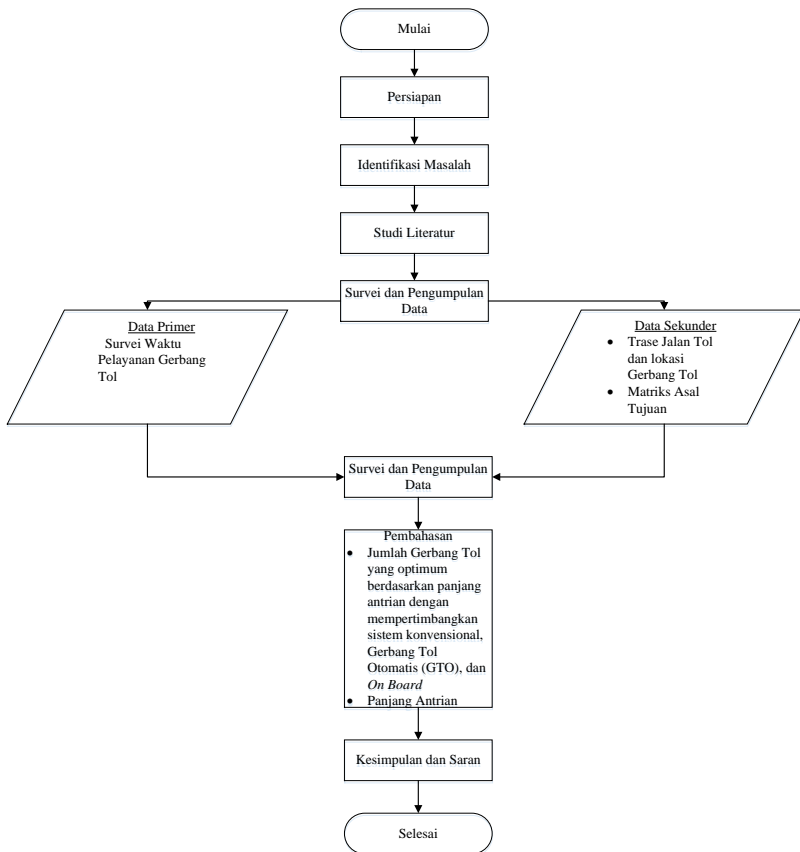
No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			

Tabel 3. 1 Formulir Waktu Pelayanan (Lanjutan)

No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

3.5 Bagan Alir (*Flow chart*)

Untuk langkah-langkah dalam penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** Bagan Diagram Alir (*Flow Chart*) berikut ini :



Gambar 3. 3 Bagan Diagram Alir (Flow Chart)

BAB IV

PENGUMPULAN dan ANALISIS DATA

4.1 Umum

Pengerjaan tugas akhir ini memerlukan data-data pendukung untuk dianalisis, di dalam tugas akhir ini terdapat dua macam data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diambil langsung dari lapangan, sedangkan data sekunder adalah data yang berasal dari berbagai sumber seperti instansi terkait, buku, literatur, tugas akhir terdahulu.

4.2 Data Primer

4.2.1 Waktu Pelayanan

Untuk merencanakan gerbang tol tentu perlu data waktu pelayanan, waktu pelayanan untuk merencanakan gerbang tol Pandaan-Malang diambil dari survei waktu pelayanan gerbang tol Cengkareng dengan data yang disurvei yaitu gardu tol konvensional, gardu tol otomatis, dan gardu tol OBU (*On Board Unit*).

4.2.1.1 Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional

Survei waktu pelayanan gardu tol konvensional di Gerbang Tol Cengkareng dihitung pada saat mobil dalam keadaan melambat hingga berhenti dan sedang mengeluarkan uang untuk membayar tol sampai mobil meninggalkan gardu dan melewati palang.

Tabel 4. 1 Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional

Jenis gardu : Konvensional

Waktu : 15.12 (2 Maret 2017)

No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
1	1	5	25
2	1	3	24
3	1	4	23
4	1	4	24
5	1	3	25
6	1	5	24
7	1	4	23
8	1	4	22
9	1	4	21
10	1	5	24
11	1	4	25
12	1	6	24
13	1	6	23
14	1	4	21
15	1	5	20
16	1	7	19
17	1	4	18
18	1	7	16
19	1	3	18
20	1	4	19
21	1	8	20
22	1	4	22
23	1	4	23
24	1	5	21
25	1	5	24

**Tabel 4. 1 Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional
(Lanjutan)**

No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
26	1	8	20
27	1	5	19
28	1	6	18
29	1	4	17
30	1	5	16
31	1	4	18
32	1	5	19
33	1	5	20
34	1	3	21
35	1	5	22
36	1	7	24
37	1	5	26
38	1	8	25
39	1	6	23
40	1	6	22
41	1	4	21
42	1	7	21
43	1	4	23
44	1	7	24
45	1	4	25
46	1	4	26
47	1	6	25
48	1	6	24
49	1	7	23
50	1	2	22

Sumber : Hasil Survei

4.2.1.2 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis

Survei waktu pelayanan gardu tol otomatis di Gerbang Tol Cengkareng dihitung pada saat mobil dalam keadaan melambat hingga berhenti dan sedang mengeluarkan kartu dan menempelkan kartu *e-toll* untuk membayar tol sampai mobil meninggalkan gardu dan melewati palang.

Jenis Gardu : Gardu Tol Otomatis

Waktu : 15.22 (2 Maret 2017)

Tabel 4. 2 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis

No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
1	1	7	11
2	1	7	10
3	1	7	9
4	1	7	8
5	1	6	9
6	1	4	10
7	1	8	9
8	1	5	8
9	1	6	6
10	1	6	6
11	1	5	7
12	1	6	8
13	1	6	9
14	1	6	8
15	1	5	8
16	1	4	7
17	1	6	6
18	1	5	7
19	1	4	7
20	1	8	6

Tabel 4. 2 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis (Lanjutan)

No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
21	1	6	5
22	1	6	6
23	1	5	8
24	1	6	7
25	1	6	6
26	1	7	8
27	1	5	9
28	1	4	10
29	1	4	9
30	1	6	8
31	1	5	7
32	1	4	6
33	1	5	5
34	1	5	4
35	1	4	3
36	1	6	2
37	1	7	2
38	1	5	2
39	1	5	3
40	1	5	4
41	1	5	5
42	1	7	6
43	1	4	5
44	1	6	6
45	1	4	7
46	1	7	6
47	1	5	5
48	1	5	4
49	1	5	5
50	1	8	5

Sumber : Hasil Survei

4.2.1.3 Waktu Pelayanan Gardu Tol *On Board Unit*

Survei waktu pelayanan gardu tol *On Board Unit* di Gerbang Tol Cengkareng dihitung pada saat mobil dalam keadaan melambat kecepatannya agar bisa dapat terbaca oleh sinyal infra merah untuk membayar tol sampai mobil meninggalkan gardu dan melewati palang.

Tabel 4. 3 Waktu Pelayanan Gardu Tol *On Board Unit*

Jenis Gardu : Gardu Tol *On Board Unit*

Waktu : 15.35 (2 Maret 2017)

No	Golongan	Waktu Pelayanan	Panjang Antrian
1	1	6	1
2	1	4	0
3	1	4	0
4	1	5	0
5	1	5	0
6	1	6	1
7	1	5	0
8	1	4	0
9	1	3	0
10	1	4	0
11	1	3	0

Sumber : Hasil Survei

4.3 Data Sekunder

Data yang didapatkan dari PT. Jasa Marga Pandaan Malang adalah lalu lintas, lokasi gerbang tol, dan trase jalan tol Pandaan-Malang. Dibawah ini adalah data lalu lintas dari jalan Pandaan-Malang.

4.3.1 Data Lalu Lintas

Tabel 4. 4 Data Lalu Lintas Pandaan-Malang

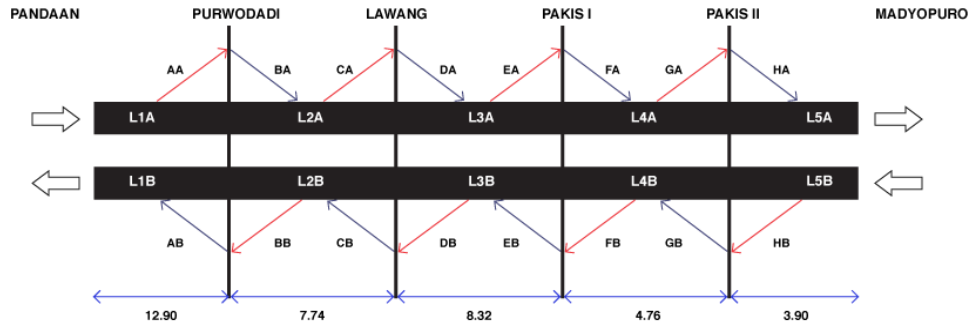
Tahun	L1A	AA	BA	L2A	CA	DA	L3A	EA	FA	L4A	GA	HA	L5A
2016	6484	1122	1495	6857	1186	1954	7625	2981	556	5200	1940	265	3525
2017	6824	1168	1557	7213	1235	2035	8013	3104	579	5488	2021	276	3743
2018	7786	1249	1665	8202	1321	2177	9058	3318	619	6539	2162	295	4492
2019	8730	1333	1777	9174	1411	2325	10088	3541	661	7208	2309	315	5214
2020	9635	1412	1883	10106	1495	2464	11075	3752	700	8023	2447	334	5910
2025	14361	1865	2488	14984	1977	3260	16267	4955	924	12236	3238	442	9440
2030	19528	2404	3209	20333	2553	4214	21994	6387	1191	16798	4186	571	13183
2035	25257	3029	4045	26273	3221	5320	28372	8047	1499	21824	5284	720	17260
2040	30951	3742	5000	32209	3985	6589	34813	9942	1851	26722	6544	891	21069
2045	37332	4533	6063	38862	4837	8001	42026	12044	2241	32223	7946	1081	25358
2050	43785	5309	7104	45580	5676	9393	49297	14105	2623	37815	9328	1268	29755
2055	50537	6116	8192	52613	6548	10847	56912	16249	3020	43683	10772	1463	34374
2060	57822	6977	9350	60195	7477	12399	65117	18537	3442	50022	12313	1671	39380

Sumber : PT. Jasamarga Pandaan Malang

Tabel 4. 5 Data Lalu Lintas Malang-Pandaan

TAHUN	L1B	AB	BB	L2B	CB	DB	L3B	EB	FB	L4B	GB	HB	L5B
2016	7497	1376	1445	7566	1326	1679	7919	3060	534	5393	1713	311	3991
2017	7852	1433	1504	7923	1381	1748	8290	3185	556	5661	1784	324	4201
2018	8697	1532	1608	8773	1477	1870	9166	3405	594	6355	1908	347	4794
2019	9540	1635	1716	9621	1577	1997	10041	3633	634	7042	2037	371	5376
2020	10347	1733	1818	10432	1671	2116	10877	3849	672	7700	2159	393	5934
2025	14680	2290	2401	14791	2211	2798	15378	5081	887	11184	2855	520	8849
2030	19560	2953	3095	19702	2858	3614	20458	6547	1143	15054	3687	672	12039
2035	25054	3722	3900	25232	3608	4560	26184	8241	1440	19383	4652	848	15579
2040	30813	4601	4818	31030	4468	5642	32204	10177	1779	23806	5756	1050	19100
2045	37247	5579	5837	37505	5426	6848	38927	12322	2155	28760	6986	1275	23049
2050	43681	6537	6836	43980	6370	8036	45646	14424	2524	33746	8197	1497	27046
2055	50423	7538	7875	50760	7356	9271	52675	16608	2908	38975	9457	1729	31247
2060	57608	8604	8984	57988	8408	10587	60167	18928	3318	44557	10799	1976	35734

Sumber : PT. Jasamarga Pandaan Malang



Gambar 4. 1 Ilustrasi dan Penjelasan dari Tol Pandaan-Malang

Sumber : PT. Jasamarga Pandaan Malang

Penjelasan :

1. L1A-L5A adalah kendaraan yang melewati jalan tol arah Pandaan-Malang
2. AA,CA,EA,GA adalah kendaraan yang keluar dari tol arah Pandaan-Malang
3. BA,DA,FA,HA adalah kendaraan yang masuk dari tol arah Pandaan-Malang
4. L1B-L5B adalah kendaraan yang melewati jalan tol arah Malang-Pandaan
5. HB,FB,DB,BB adalah kendaraan yang keluar dari tol arah Malang-Pandaan
6. GB,EB,CB,AB adalah kenaraan yang masuk dari tol arah Malang-Pandaan

4.3.2 Analisis Data Lalu Lintas Golongan I-V

Data lalu lintas pada pembahasan sebelumnya belum sesuai golongan I-V, data yang diberikan dari PT. Jasamarga Pandaan Malang terdapat proporsi golongan. Berikut proporsi golongan I-V.

Tabel 4. 6 Proporsi Golongan Kendaraan I-V

GOL 1	79,54 %
GOL 2	15,94 %
GOL 3	2,7 %
GOL 4	0,96 %
GOL 5	0,85 %

Sumber : PT Jasamarga Pandaan Malang

Contoh Perhitungan :

1. Jumlah kendaraan pada ruas L1A pada tahun 2016 adalah 6484 kendaraan.
2. Untuk golongan I $\frac{79,54}{100} \times 6484 = 5157$
3. Untuk golongan II $\frac{15,94}{100} \times 6484 = 1034$
4. Untuk golongan III $\frac{2,7}{100} \times 6484 = 175$
5. Untuk golongan IV $\frac{0,96}{100} \times 6484 = 62$
6. Untuk golongan V $\frac{0,85}{100} \times 6484 = 55$

4.3.3 Analisis Matriks Asal Tujuan

Untuk mendapatkan matriks asal tujuan menggunakan matriks *demand and load factor*. Berikut adalah contoh perhitungan dari matriks *demand and load factor*.

Contoh perhitungan :

Matriks *demand and load factor* dari Pandaan-Malang pada golongan I

Gol 1	1	2	3	4	5	6	
1	0	892	4265	3527,579	2148,537	1346,991	5157
2	0	0	1189	983,4212	598,9708	375,5153	1189
3	0	0	0	1554	946,4923	593,3884	1554
4	0	0	0	0	442	277,1049	442
5	0	0	0	0	0	211	211
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	892	943	2371	1543	2804	
		5157	5454	6065	4136	2804	
		0,172969	0,172901	0,390932	0,373066	1	

Gol 1	1	2	3	4	5	6	
1	0	892	737	1379	802	1347	5157
2	0	0	206	384	223	376	1189
3	0	0	0	608	353	593	1554
4	0	0	0	0	165	277	442
5	0	0	0	0	0	211	211
6	0	0	0	0	0	0	0

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.4 Matriks Asal Tujuan Pandaan-Malang

Setelah analisis dengan menggunakan matriks *demand and load factor* mendapatkan matriks asal tujuan. Berikut adalah matriks asal tujuan Pandaan-Malang untuk golongan I-V pada tahun 2016.

Tabel 4. 7 Matriks Asal Tujuan Golongan I

GOL 1

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	892	737	1379	802	1347
PURWODADI	1094	0	206	384	223	376
LAWANG	853	201	0	608	353	593
PAKIS 1	1552	366	516	0	165	277
PAKIS 2	783	185	269	135	0	211
MALANG	1681	397	559	290	247	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 8 Matriks Asal Tujuan Golongan II

GOL 2

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	179	148	276	161	270
PURWODADI	219	0	41	77	45	75
LAWANG	171	40	0	122	71	119
PAKIS 1	311	73	104	0	33	56
PAKIS 2	157	37	52	27	0	42
MALANG	337	79	112	58	50	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 9 Matriks Asal Tujuan Golongan III
GOL 3

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	30	25	47	27	46
PURWODADI	37	0	7	13	7	13
LAWANG	29	7	0	21	12	20
PAKIS 1	53	12	17	0	6	9
PAKIS 2	26	6	9	4	0	7
MALANG	57	14	19	10	8	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 10 Matriks Asal Tujuan Golongan IV
GOL 4

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	11	9	17	10	16
PURWODADI	13	0	2	5	3	4
LAWANG	11	3	0	8	4	7
PAKIS 1	19	4	6	0	2	3
PAKIS 2	9	2	3	2	0	3
MALANG	20	5	7	3	3	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 11 Matriks Asal Tujuan Golongan V
GOL 5

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	10	8	14	8	14
PURWODADI	13	0	2	4	2	4
LAWANG	9	5	0	7	4	7
PAKIS 1	16	3	5	0	2	3
PAKIS 2	8	6	3	2	0	2
MALANG	17	4	6	3	3	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 12 Total Matriks Asal Tujuan

TOTAL

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	1122	927	1733	1008	1693
PURWODADI	1376	0	258	483	280	472
LAWANG	1073	256	0	766	444	746
PAKIS 1	1951	458	648	0	208	348
PAKIS 2	983	236	336	170	0	265
MALANG	2112	499	703	364	311	0

Sumber : Hasil Perhitungan

BAB V

ANALISIS dan PEMBAHASAN

5.1 Analisis Tingkat Kedatangan

Pada bab IV terdapat matriks asal tujuan yang merupakan data kendaraan per hari. Agar matriks asal tujuan ini menjadi arus jam puncak perlu dikali dengan faktor k berdasarkan tabel A.6 Jalan Bebas Hambatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia no 3.

Tabel 5. 1 Faktor K

Faktor K	0,11(qjp = 0,11 LHRT)
----------	-----------------------

Sumber : PKJI 2014

Contoh perhitungan dari Matriks Asal Tujuan pada tahun 2016 dengan Faktor K untuk mendapatkan arus jam puncak.

Jumlah kendaraan golongan I dari arah Pandaan ke Purwodadi $892 \times 0,11 = 98,12$.

Berikut ini adalah matriks asal tujuan pada tahun 2016 setelah dikali dengan faktor arus jam puncak.

Tabel 5. 2 Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2016**GOL 1**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	98	81	152	88	148
PURWODADI	120	0	23	42	25	41
LAWANG	94	22	0	67	39	65
PAKIS 1	171	40	57	0	18	30
PAKIS 2	86	20	30	15	0	23
MALANG	185	44	61	32	27	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 3 Arus Jam Puncak Golongan II pada Tahun 2016**GOL 2**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	20	16	30	18	30
PURWODADI	24	0	5	8	5	8
LAWANG	19	4	0	13	8	13
PAKIS 1	34	8	11	0	4	6
PAKIS 2	17	4	6	3	0	5
MALANG	37	9	12	6	6	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 4 Arus Jam Puncak Golongan III pada Tahun 2016

GOL 3

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	3	3	5	3	5
PURWODADI	4	0	1	1	1	1
LAWANG	3	1	0	2	1	2
PAKIS 1	6	1	2	0	1	1
PAKIS 2	3	1	1	0	0	1
MALANG	6	2	2	1	1	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 5 Arus Jam Puncak Golongan IV pada Tahun 2016

GOL 4

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	1	1	2	1	2
PURWODADI	1	0	0	1	0	0
LAWANG	1	0	0	1	0	1
PAKIS 1	2	0	1	0	0	0
PAKIS 2	1	0	0	0	0	0
MALANG	2	1	1	0	0	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 6 Arus Jam Puncak Golongan V pada Tahun 2016**GOL 5**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	1	1	2	1	2
PURWODADI	1	0	0	0	0	0
LAWANG	1	1	0	1	0	1
PAKIS 1	2	0	1	0	0	0
PAKIS 2	1	1	0	0	0	0
MALANG	2	0	1	0	0	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 7 Arus Jam Puncak Total Golongan pada Tahun 2016**TOTAL**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	123	102	191	111	186
PURWODADI	151	0	28	53	31	52
LAWANG	118	28	0	84	49	82
PAKIS 1	215	50	71	0	23	38
PAKIS 2	108	26	37	19	0	29
MALANG	232	55	77	40	34	0

Sumber : Hasil Perhitungan

5.2 Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol

Setelah mendapatkan matriks arus jam puncak, melakukan analisis distribusi kendaraan ke gerbang tol untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar di gerbang tol Pandaan-Malang. Distribusi kendaraan ini dengan cara memasukkan kendaraan pada matriks arus jam puncak ke gerbang tol masuk dan keluar Pandaan-Malang.

Contoh analisis distribusi kendaraan ke gerbang tol :

Pada tabel 5.2 kendaraan di Pandaan menuju Purwodadi berjumlah 98 kendaraan. Berarti kendaraan yang memasuki Pandaan 98 kendaraan dan keluar di Purwodadi berjumlah 98 kendaraan. Distribusi kendaraan ke gerbang tol ini dianalisis dengan semua golongan kendaraan yaitu golongan I-V. Untuk contoh tabel distribusi kendaraan ke gerbang tol seperti dibawah ini :

Tabel 5. 8 Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol pada Golongan I

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n I
Pandaan	Purwodadi	98	98					
Pandaan	Lawang	81		81				
Pandaan	Pakis 1	152			152			
Pandaan	Pakis 2	88				88		
Pandaan	Malang	148					48	
Purwodadi	Lawang		23	23				
Purwodadi	Pakis 1		42		42			
Purwodadi	Pakis 2		25			25		
Purwodadi	Malang		41				41	
Purwodadi	Pandaan	120	120					
Lawang	Pakis 1			67	67			
Lawang	Pakis 2			39		39		
Lawang	Malang			65			65	
Lawang	Purwodadi		22	22				
Lawang	Pandaan	94		94				
Pakis 1	Pakis 2				18	18		
Pakis 1	Malang				30		30	
Pakis 1	Lawang			57	57			
Pakis 1	Purwodadi		40		40			
Pakis 1	Pandaan	171			171			
Pakis 2	Malang					23	23	
Pakis 2	Pakis 1				15	15		
Pakis 2	Lawang			30		30		
Pakis 2	Purwodadi		20			20		
Pakis 2	Pandaan	86				86		
Malang	Pakis 2					27	27	
Malang	Pakis 1				32		32	
Malang	Lawang			61			61	
Malang	Purwodadi		44				44	
Malang	Pandaan	185					185	

Sumber : Hasil Perhitungan

5.3 Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang

Analisis jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang merupakan penjumlahan dari distribusi kendaraan yang masuk dan keluar dari setiap gerbang tol. Untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar dari setiap gerbang tol Pandaan-Malang.

Contoh perhitungan dari jumlah kendaraan masuk gerbang :

Pada tabel 5.8 terdapat jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang dari tiap gerbang tol Pandaan-Malang. Pada gerbang tol Pandaan kendaraan yang masuk $98+81+152+88+148 = 567$ kendaraan. Jadi jumlah kendaraan yang masuk pada gerbang tol Pandaan berjumlah 567 kendaraan. Dalam analisis jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang, dianalisis dari setiap golongan kendaraan dan daerah yang melewati Pandaan-Malang. Untuk contoh analisis jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang seperti dibawah ini :

Tabel 5. 9 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang

Golongan	Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	567	251	287	316	174	349	1944
2	114	50	57	63	35	70	389
3	19	8	9	11	6	12	65
4	7	2	3	3	1	4	20
5	7	2	3	3	1	3	19
Total	714	313	359	396	217	438	2437

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 10 Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Pandaan-Malang

Golongan	Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	656	224	252	308	197	207	1844
2	131	45	50	60	41	62	389
3	22	8	9	9	8	11	67
4	7	2	3	4	1	3	20
5	7	1	3	4	1	3	19
Total	823	280	317	385	248	286	2339

Sumber : Hasil Perhitungan

Karena jumlah kendaraan masuk gerbang tol Pandaan-Malang belum dikali dengan ekr (ekivalen kendaraan ringan) atau emp (ekivalen mobil penumpang). Berikut tabel ekr untuk jalan bebas hambatan 4/2 menurut PKJI 2014 pada tabel B.1 :

Tabel 5. 11 Ekvivalen Kendaraan Ringan untuk Jalan Bebas Hambatan 4/2

Tipe alinemen	q per arah (kend./jam)	Ekr		
		KS	BB	TB
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥ 2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,9	2,6	5,1
	1450	2,6	2,9	4,8
	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Sumber : PKJI 2014

Golongan kendaraan 1 berjumlah 1943 kendaraan, maka dari itu menggunakan ekr (ekivalen kendaraan ringan) dengan nilai 1 karena jalan bebas hambatan Pandaan-Malang dengan tipe datar. Jadi kendaraan golongan I $1944 \times 1 = 1944$ kendaraan/jam. Untuk golongan kendaraan 2 berjumlah 389 kendaraan, menggunakan Ekr dengan nilai 1,2. Jadi kendaraan golongan II $389 \times 1,2 = 467$ kendaraan/jam. Golongan III, IV, dan V menggunakan Ekr dengan nilai 1,6. Jadi kendaraan golongan III $67 \times 1,6 = 104$, golongan kendaraan IV $20 \times 1,6 = 32$ dan golongan kendaraan V $19 \times 1,6 = 30$. Analisis yang seperti di atas dilakukan untuk jumlah kendaraan keluar gerbang tol dengan cara yang sama. Berikut adalah tabel dari jumlah kendaraan masuk ke gerbang tol setelah dikali dengan ekr (ekivalen kendaraan ringan).

**Tabel 5. 12 Jumlah Kendaraan Masuk ke Gerbang Tol
Setelah dihitung dengan EKR**

Golongan	Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang (emp/jam)						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	567	251	287	316	174	349	1944
2	137	60	68	76	42	84	467
3	30	13	14	18	10	19	104
4	11	3	5	5	2	6	32
5	11	3	5	5	2	5	30
Total	757	330	379	419	229	463	2577

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 5. 13 Jumlah Kendaraan Keluar dari Gerbang Tol
Setelah dihitung dengan EKR**

Golongan	Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang (emp/jam)						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	656	224	252	308	197	207	1844
2	157	54	60	72	49	74	467
3	35	13	14	14	13	18	107
4	11	3	5	6	2	5	32
5	11	2	5	6	2	5	30
Total	871	296	336	407	262	309	2480

Sumber : Hasil Perhitungan

5.4 Analisis Waktu Pelayanan

Dalam merencanakan gerbang tol diperlukannya waktu pelayanan setiap gardu tol. Analisis waktu pelayanan pada tugas akhir ini, menganalisis gardu tol konvensional, gardu tol otomatis, dan gardu tol *On Board Unit*. Sebelum menganalisis waktu pelayanan, melakukan survei waktu pelayanan di gerbang tol Cengkareng pada tanggal 2 maret 2017. Survei waktu pelayanan gardu tol konvensional, gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit*.

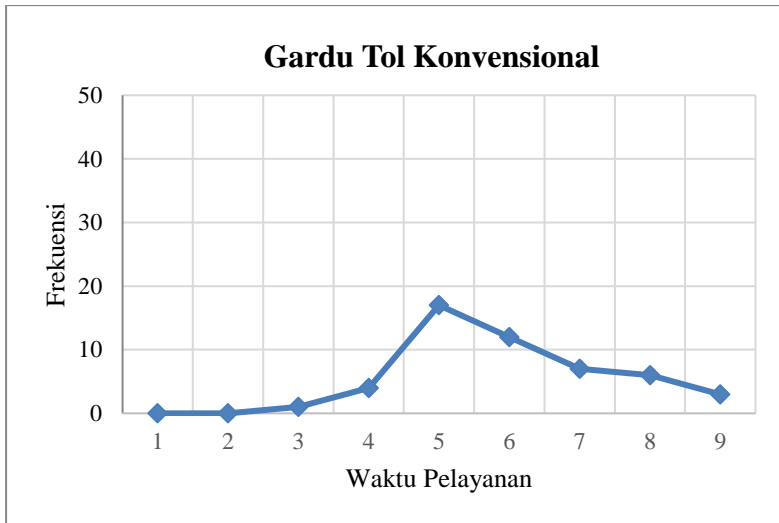
Analisis waktu pelayanan menggunakan frekuensi kendaraan yang melintas sehingga mendapatkan frekuensi kumulatif serta presentase. Berikut adalah tabel dari frekuensi gardu tol konvensional, gardu tol otomatis, dan gardu tol *On Board Unit* berdasarkan survei yang dilakukan di gerbang tol Cengkareng :

Tabel 5. 14 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Presentase	Presentase kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	1	1	2	2
3	4	5	8	10
4	17	22	34	44
5	12	34	24	68
6	7	41	14	82
7	6	47	12	94
8	3	50	6	100

Sumber : Hasil Perhitungan

Untuk perhitungan waktu pelayanan sebelumnya diperlukan menganalisis waktu pelayanan dan frekuensi dari waktu pelayanan itu sendiri, dikarenakan ada atau tidaknya data yang bersifat *out of layer*.



Gambar 5. 1 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional

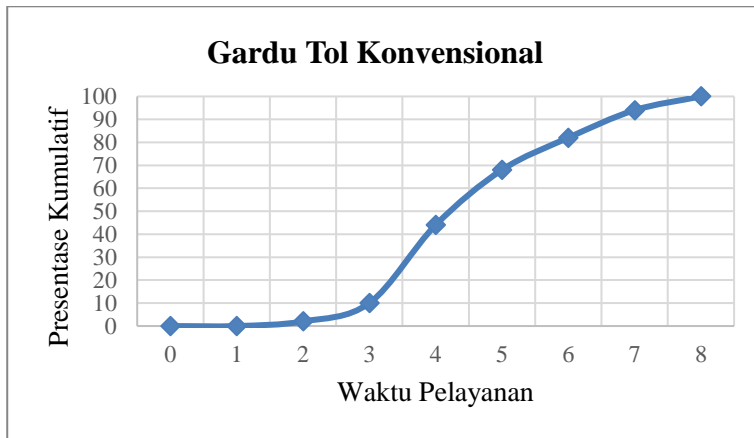
Pada tabel 5.14, WP adalah waktu pelayanan, dan untuk penjelasan dari tabel 5.14 sebagai berikut :

Rata-rata	: 5
Median	: 4,5
Modus	: 4
Presentase Kumulatif	: 50 % = 4,55
	: 75 % = 5,51
Waktu Pelayanan	: 5 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk gardu tol konvensional dilihat dari nilai rata-rata, presentase kumulatif 50%, dan presentase kumulatif 75%. Untuk menentukannya dari 3 nilai yang

disebutkan sebelumnya diperiksa dengan nilai median dan modus. Maka dari itu nilai yang lebih dekat dengan nilai median dan modus adalah presentase kumulatif 50%. Sehingga waktu pelayanan yang dipakai 5 detik.

Grafik dari frekuensi waktu pelayanan gardu tol konvensional sebagai berikut :



Gambar 5. 2 Grafik Waktu Pelayanan Gardu Tol Konvensional

Untuk analisis waktu pelayanan gardu tol otomatis sama dengan cara menganalisis dari waktu pelayanan gardu tol konvensional. Berikut adalah tabel frekuensi waktu pelayanan gardu tol otomatis.

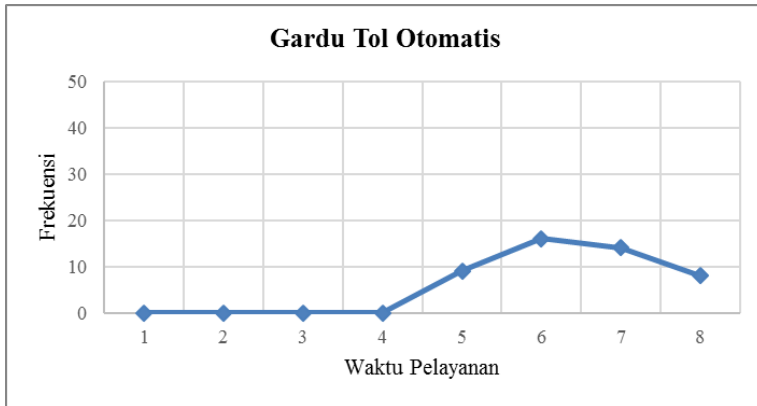
Tabel 5. 15 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Presentase	Presentase Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	9	9	18	18
5	16	25	32	50
6	14	39	28	78
7	8	47	16	94
8	3	50	6	100

Sumber : Hasil Perhitungan

Cara yang digunakan untuk menganalisis waktu pelayanan gardu tol otomatis sama dengan gardu tol konvensional. Langkah pertama adalah menganalisis waktu pelayanan dan frekuensi untuk mengetahui ada atau tidaknya data yang *out of layer*.

Berikut adalah grafik dari waktu pelayanan dan frekuensi :



Gambar 5. 3 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis

Grafik diatas menjelaskan adanya data *out of layer* pada gardu tol otomatis, data *out of layer* yang dimaksud adalah data diluar dari waktu pelayanan. Pada grafik diatas data *out of layer* berada di waktu pelayanan 7 dan 8 detik. Dikarenakan pada waktu pelayanan 7 dan 8 detik pada saat survei, kendaraan yang lewat sampai waktu 7 dan 8 detik sudah tidak melakukan gerakan yang normal seperti mengambil struk dibawah dan salah menempelkan kartu ke alat gardu tol otomatis. Sehingga waktu pelayanan 7 dan 8 detik dihilangkan.

Berikut adalah frekuensi waktu pelayanan gardu tol otomatis yang sudah dihilangkan data *out of layer*.

Tabel 5. 16 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis (2)

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Presentase	Presentase Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	9	9	23	23
5	16	25	41	64
6	14	39	36	100

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada tabel 5.16, WP adalah waktu pelayanan, dan untuk penjelasan dari tabel 5.16 sebagai berikut :

Rata-rata : 5,128

Median : 3,5

Modus : 5

Presentase Kumulatif : 50% = 5,2

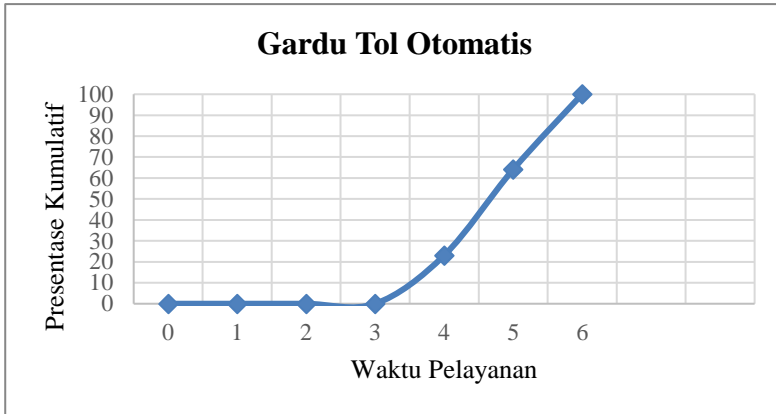
: 75% = 5,8

Waktu Pelayanan : 5 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata, presentase kumulatif 50%, dan presentase kumulatif 75%. Untuk menentukannya dari 3 nilai yang disebutkan sebelumnya diperiksa dengan nilai median dan modus. Maka dari itu nilai yang lebih dekat dengan nilai median dan

modus adalah rata-rata. Sehingga waktu pelayanan yang dipakai 5 detik.

Grafik dari frekuensi waktu pelayanan gardu tol otomatis sebagai berikut :



Gambar 5. 4 Grafik Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis

Untuk frekuensi waktu pelayanan gardu tol *On Board Unit* sebagai berikut :

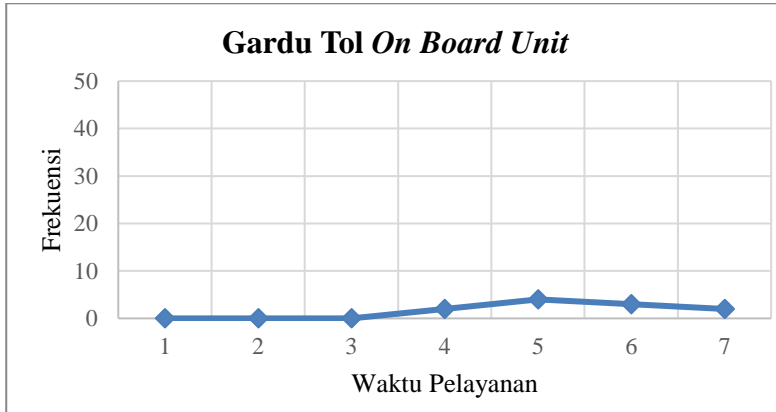
Tabel 5. 17 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol On Board Unit

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Presentase	Presentase Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	2	2	18	18
4	4	6	36	55
5	3	9	27	82
6	2	11	18	100

Sumber : Hasil Perhitungan

Cara yang digunakan untuk menganalisis waktu pelayanan gardu tol *On Board Unit*. Langkah pertama adalah menganalisis waktu pelayanan dan frekuensi untuk mengetahui ada atau tidaknya data yang *out of layer*.

Berikut adalah grafik frekuensi dan waktu pelayanan gardu tol *On Board Unit* :



Gambar 5.5 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol On Board Unit

Pada tabel 5.17, WP adalah waktu pelayanan, dan untuk penjelasan dari tabel 5.17 sebagai berikut :

Rata-rata : 4

Median : 3

Modus : 4

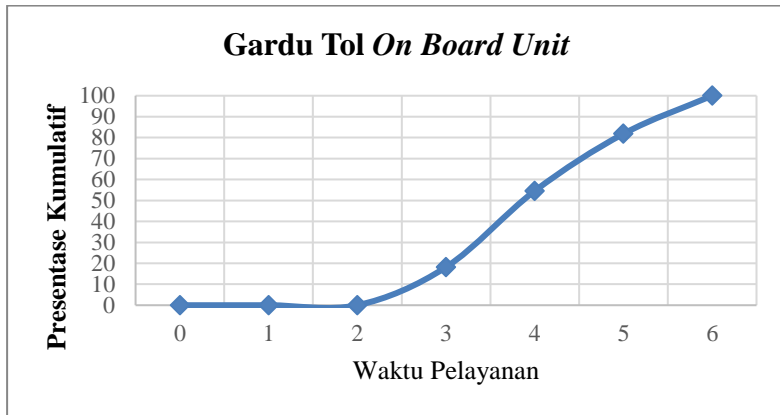
Presentase kumulatif : 50 % = 3,6

: 75% = 4,6

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk gardu tol *On Board Unit* dilihat dari nilai rata-rata, presentase kumulatif 50%, dan presentase kumulatif 75%. Untuk menentukannya dari 3 nilai yang disebutkan sebelumnya diperiksa dengan nilai median dan modus. Maka dari itu nilai yang lebih dekat dengan nilai median dan

modus adalah presentase kumulatif 50%. Sehingga waktu pelayanan yang dipakai 4 detik.

Grafik dari frekuensi waktu pelayanan gardu tol *On Board Unit* sebagai berikut :



Gambar 5. 6 Grafik Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol On Board Unit

5.5 Analisis Intensitas Lalu Lintas

Pada tahap selanjutnya setelah mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan setiap gerbang tol Pandaan-Malang adalah analisis intensitas lalu lintas untuk mengetahui intensitas setiap gardu tol yaitu gardu tol konvensional, gardu tol otomatis, dan gardu tol *On Board Unit*. Untuk menganalisis intensitas lalu lintas menggunakan waktu pelayanan berdasarkan standar pelayanan minimum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol, dan waktu pelayanan berdasarkan survei waktu pelayanan yang telah dilakukan di gerbang tol Cengkareng. Untuk perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang menggunakan sistem gerbang tol tertutup

sehingga perlu adanya gardu tol ambil kartu, dan biaya sesuai dengan jarak tempuh yang dilalui oleh kendaraan tersebut.

5.5.1 Analisis Intensitas Gerbang I (Gerbang Purwodadi)

Pada perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang, untuk gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* digabung karena melihat hingga saat ini untuk gardu tol *On Board Unit* masih sepi peminat dan juga gardu tol otomatis dapat digabung dengan gardu *On Board Unit*. Perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang menggunakan proporsi kendaraan masuk gerbang tol 75% dari golongan 1 masuk ke gardu tol konvensional, 25% dari golongan 1 masuk ke gardu tol otomatis dan gardu tol *on board unit*, dan untuk golongan 2 sampai 5 masuk ke gardu tol konvensional. Alasan mengambil proporsi untuk 25% gardu tol otomatis berdasarkan sampai Mei 2017 saat ini penggunaan uang elektronik sebagai alat pembayaran tol baru sekitar 23% (menurut kabar PUPR, 2017).

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 267 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 63 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{267/1}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,3715 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{63/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,0697 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Purwodadi arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ_1 (gardu tol konvensional) : 251 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 56 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{9} = 400$$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N_1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N_2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{251/1}{400} < 1$$

$$\rho_1 = 0,627 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{56/1}{720} < 1$$

$$\rho_2 = 0,0778 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Purwodadi arah keluar aman.

5.5.2 Analisis Intensitas Gerbang II (Gerbang Lawang)

Untuk analisis intensitas gerbang tol Lawang sama dengan menganalisis gerbang tol Purwodadi. Perhitungan analisis intensitas lalu lintas gerbang tol Lawang sebagai berikut :

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 307 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 72 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{307/1}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,4273 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{72/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,0797 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Lawang arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ_1 (gardu tol konvensional) : 273 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 63 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

$$\mu 1 \quad : \frac{1 \times 3600}{9} = 400$$

$$\text{Waktu pelayanan 2} \quad : 5 \text{ detik}$$

$$\mu 2 \quad : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (keluar) :

$$\rho 1 = \frac{\lambda 1 / N 1}{\mu} < 1$$

$$\rho 1 = \frac{273 / 1}{400} < 1$$

$$\rho 1 = 0,6825 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho 2 = \frac{\lambda 2 / N 2}{\mu} < 1$$

$$\rho 2 = \frac{63 / 1}{720} < 1$$

$$\rho 2 = 0,0875 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka $\rho 1$ dan $\rho 2$ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Lawang arah keluar aman.

5.5.3 Analisis Intensitas Gerbang III (Gerbang Pakis 1)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 340 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 79 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{340/1}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,4719 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{79/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,088 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 1 arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ_1 (gardu tol konvensional) : 330 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 77 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{9} = 400$$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1 / N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{330/1}{400} < 1$$

$$\rho_1 = 0,825 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2 / N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{77/1}{720} < 1$$

$$\rho_2 = 0,1069 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 1 arah keluar aman.

5.5.4 Analisis Intensitas Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 186 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 44 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{186/1}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,2583 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{44/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,048 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 2 arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ_1 (gardu tol konvensional) : 213 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 49 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

$$\mu 1 : \frac{1 \times 3600}{9} = 400$$

$$\text{Waktu pelayanan 2} : 5 \text{ detik}$$

$$\mu 2 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (keluar) :

$$\rho 1 = \frac{\lambda 1 / N 1}{\mu} < 1$$

$$\rho 1 = \frac{213 / 1}{400} < 1$$

$$\rho 1 = 0,5325 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho 2 = \frac{\lambda 2 / N 2}{\mu} < 1$$

$$\rho 2 = \frac{49 / 1}{720} < 1$$

$$\rho 2 = 0,068 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka $\rho 1$ dan $\rho 2$ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 2 arah keluar aman.

5.5.5 Analisis Intensitas Gerbang V (Gerbang Malang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 376 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 87 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{376/1}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,52 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{87/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,096 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Malang arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ_1 (gardu tol konvensional) : 257 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 52 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{9} = 400$$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

Gardu tol konvensional (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1 / N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{257/1}{400} < 1$$

$$\rho_1 = 0,6425 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2 / N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{52/1}{720} < 1$$

$$\rho_2 = 0,072 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Malang arah keluar aman.

5.6 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)

Analisis antrian pada gerbang tol untuk mengetahui panjang antrian yang terjadi dan waktu untuk mengantri dalam gerbang tol. Analisis antrian ini menggunakan jumlah gardu yang sama pada analisis intensitas lalu lintas.

5.6.1. Analisis Antrian pada Gerbang I (Gerbang Purwodadi)

Dalam analisis antrian masih menggunakan proporsi golongan I 75% dan golongan 2-5 dilayani oleh gardu tol konvensional, dan 25% golongan I dilayani oleh gardu tol otomatis dan *On Board Unit*. Gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* masih dijadikan 1 gardu tol. Berikut adalah hasil perhitungan analisis antrian pada gerbang tol I :

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 267 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 63 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,3715$$

$$\rho_2 : 0,697$$

Gardu tol ambil kartu untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,3715}{1-0,3715} = 0,5909 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,3715^2}{1-0,3715} = 0,2195 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 267/1} \times 3600 = 7,955 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 7,954 - \frac{1}{720} \times 3600 = 2,955 \text{ detik}$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,0697}{1-0,0697} = 0,0749 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,0697^2}{1-0,0697} = 0,005 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 63/1} \times 3600 = 4,301 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 4,301 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0,301 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 251 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 56 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{9} = 400$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,627

ρ_2 : 0,0778

Gardu tol keluar untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,627}{1-0,627} = 1,6809 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,627^2}{1-0,627} = 1,0539 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{400 - 251/1} \times 3600 = 24,16 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 24,16 - \frac{1}{400} \times 3600 = 15,16 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,0778}{1-0,0778} = 0,08436 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,0778^2}{1-0,0778} = 0,0065 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 56/1} \times 3600 = 5,421 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5,421 - \frac{1}{720} \times 3600 = 0,421 \text{ detik}$$

5.6.2 Analisis Antrian pada Gerbang II (Gerbang Lawang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 307 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 72 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,4273$$

$$\rho_2 : 0,0797$$

Gardu tol ambil kartu untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,4273}{1-0,4273} = 0,7461 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,4273^2}{1-0,4273} = 0,3188 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 307/1} \times 3600 = 8,716 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 8,716 - \frac{1}{720} \times 3600 = 3,716 \text{ detik}$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,0797}{1-0,0797} = 0,0866 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,0797^2}{1-0,0797} = 0,0069 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 72/1} \times 3600 = 4,347 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 4,347 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0,347 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 273 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 63 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{9} = 400$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N_1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N_2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,6825

ρ_2 : 0,0875

Gardu tol keluar untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,6825}{1-0,6825} = 2,149 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,6825^2}{1-0,6825} = 1,467 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{400 - 273/1} \times 3600 = 28,346 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 28,346 - \frac{1}{400} \times 3600 = 19,346 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,0875}{1-0,0875} = 0,0958 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,0875^2}{1-0,0875} = 0,0083 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 63/1} \times 3600 = 5,479 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5,479 - \frac{1}{720} \times 3600 = 0,479 \text{ detik}$$

5.6.3 Analisis Antrian pada Gerbang III (Gerbang Pakis I)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 340 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 79 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,4719$$

$$\rho_2 : 0,088$$

Gardu tol ambil kartu untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,4719}{1-0,4719} = 0,8935 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,4719^2}{1-0,4719} = 0,4217 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 340/1} \times 3600 = 9,473 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 9,473 - \frac{1}{720} \times 3600 = 4,473 \text{ detik}$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,088}{1-0,088} = 0,09649 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,088^2}{1-0,088} = 0,00849 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 79/1} \times 3600 = 4,384 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 4,384 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0,384 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 330 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 77 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{9} = 400$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,825

ρ_2 : 0,1069

Gardu tol keluar untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,825}{1-0,825} = 4,71 \approx 5 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,825^2}{1-0,825} = 3,89 \approx 4 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{400 - 330/1} \times 3600 = 51,42 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 51,42 - \frac{1}{400} \times 3600 = 41,42 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,0875}{1-0,0875} = 0,0958 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,0875^2}{1-0,0875} = 0,0083 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 63/1} \times 3600 = 5,479 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5,479 - \frac{1}{720} \times 3600 = 0,479 \text{ detik}$$

5.6.4 Analisis Antrian pada Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 186 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 44 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,2583$$

$$\rho_2 : 0,048$$

Gardu tol ambil kartu untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,2583}{1-0,2583} = 0,3482 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,2583^2}{1-0,2583} = 0,0899 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 186/1} \times 3600 = 6,74 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 6,74 - \frac{1}{720} \times 3600 = 1,74 \text{ detik}$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,048}{1-0,048} = 0,0504 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,048^2}{1-0,048} = 0,002 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 44/1} \times 3600 = 4,205 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 4,205 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0,205 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

$$\lambda_1 \text{ (gardu tol konvensional)} : 213 \text{ emp/jam}$$

$$\lambda_2 \text{ (gardu tol otomatis dan OBU): } 49 \text{ emp/jam}$$

$$\text{Waktu pelayanan 1} : 9 \text{ detik}$$

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{9} = 400$$

$$\text{Waktu pelayanan 2} : 5 \text{ detik}$$

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,5325$$

$$\rho_2 : 0,068$$

Gardu tol keluar untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,5325}{1-0,5325} = 1,139 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,5325^2}{1-0,5325} = 0,606 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{400 - 213/1} \times 3600 = 19,251 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 19,251 - \frac{1}{400} \times 3600 = 10,251 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,068}{1-0,068} = 0,0729 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,068^2}{1-0,068} = 0,0049 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 49/1} \times 3600 = 5,365 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5,365 - \frac{1}{720} \times 3600 = 0,365 \text{ detik}$$

5.6.5 Analisis Antrian pada Gerbang V (Gerbang Malang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 376 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 87 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,52$$

$$\rho_2 : 0,096$$

Gardu tol ambil kartu untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,52}{1-0,52} = 1,083 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,52^2}{1-0,52} = 0,563 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 376/1} \times 3600 = 10,465 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 10,465 - \frac{1}{720} \times 3600 = 5,465 \text{ detik}$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,096}{1-0,096} = 0,106 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,096^2}{1-0,096} = 0,0101 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 87/1} \times 3600 = 4,42 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 4,42 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0,42 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk konvensional.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ_1 (gardu tol konvensional) : 257 emp/jam

λ_2 (gardu tol otomatis dan *OBU*): 52 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 9 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{9} = 400$

Waktu pelayanan 2 : 5 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Jumlah gardu tol keluar untuk konvensional (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,6425

ρ_2 : 0,072

Gardu tol keluar untuk konvensional

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,6425}{1-0,6425} = 1,797 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,6425^2}{1-0,6425} = 1,154 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{400 - 257/1} \times 3600 = 25,17 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 25,17 - \frac{1}{400} \times 3600 = 16,17 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,072}{1-0,072} = 0,775 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,072^2}{1-0,072} = 0,0055 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 52/1} \times 3600 = 5,389 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5,389 - \frac{1}{720} \times 3600 = 0,389 \text{ detik}$$

5.7 Perencanaan Gerbang Tol Pandaan-Malang 2030

Perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2030 dilakukan untuk mengetahui kemampuan gerbang melayani kendaraan yang lewat dengan jumlah kendaraan yang meningkat dari perencanaan sebelumnya yaitu pada tahun 2016. Data yang dibutuhkan pada perencanaan ini adalah sama dengan perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2016 yaitu data lalu lintas. Data lalu lintas pada tahun 2030 didapatkan dari PT. Jasamarga Pandaan Malang. Data lalu lintas pada tahun 2030 tertera pada tabel 4.4 dan tabel 4.5, setelah itu dibuat menjadi matriks asal tujuan dengan metode matriks *demand and load factor*. Berikut ini adalah matriks asal tujuan tol Pandaan-Malang pada tahun 2030 :

Tabel 5. 18 Matriks Asal Tujuan Golongan I pada Tahun 2030

GOL 1

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	1912	1711	3459	2106	6346
PURWODADI	2349	0	320	648	395	1189
LAWANG	1916	357	0	973	593	1786
PAKIS 1	3614	674	920	0	236	711
PAKIS 2	1881	351	479	223	0	454
MALANG	5798	1081	1476	686	535	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 19 Matriks Asal Tujuan Golongan II pada Tahun 2030

GOL 2

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	383	343	693	422	1271
PURWODADI	471	0	64	130	79	238
LAWANG	384	72	0	195	119	358
PAKIS 1	724	135	184	0	47	143
PAKIS 2	377	70	96	45	0	91
MALANG	1162	216	296	137	107	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 20 Matriks Asal Tujuan Golongan III pada Tahun 2030

GOL 3

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	65	58	117	71	216
PURWODADI	80	0	11	22	13	41
LAWANG	65	12	0	33	20	61
PAKIS 1	123	23	31	0	8	24
PAKIS 2	64	12	16	8	0	15
MALANG	197	37	50	23	18	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 21 Matriks Asal Tujuan Golongan IV pada Tahun 2030

GOL 4

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	23	21	42	25	77
PURWODADI	28	0	4	8	5	15
LAWANG	23	4	0	12	7	22
PAKIS 1	44	8	11	0	3	8
PAKIS 2	22	4	6	3	0	5
MALANG	71	13	18	8	6	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 22 Matriks Asal Tujuan Golongan V pada Tahun 2030

GOL 5

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	20	19	37	23	68
PURWODADI	28	0	3	7	4	13
LAWANG	20	4	0	10	6	19
PAKIS 1	38	7	10	0	3	7
PAKIS 2	20	4	5	2	0	2
MALANG	60	11	16	8	6	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 23 Matriks Asal Tujuan Total Golongan pada Tahun 2030

TOTAL

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	2403	2152	4348	2647	7978
PURWODADI	2956	0	402	815	496	1496
LAWANG	2408	449	0	1223	745	2246
PAKIS 1	4543	847	1156	0	297	893
PAKIS 2	2364	441	602	281	0	567
MALANG	7288	1358	1856	862	672	0

Sumber : Hasil Perhitungan

5.7.1 Analisis Tingkat Kedatangan

Setelah mendapatkan matriks yang merupakan kendaraan per hari. Agar matriks asal tujuan ini menjadi arus jam puncak perlu dikali dengan faktor k berdasarkan tabel A.6 Jalan Bebas Hambatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia no 3. Pada tabel 5.1 sudah tertera faktor K yaitu 0,11 dikali dengan matriks asal tujuan. Berikut ini adalah matriks asal tujuan pada tahun 2030 setelah dikali dengan faktor arus jam puncak :

Tabel 5. 24 Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2030

GOL 1

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	210	188	380	232	698
PURWODADI	258	0	35	71	43	131
LAWANG	211	39	0	107	65	196
PAKIS 1	398	74	101	0	26	78
PAKIS 2	207	39	53	25	0	50
MALANG	638	119	162	75	59	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 25 Arus Jam Puncak Golongan II pada Tahun 2030

GOL 2

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	42	38	76	46	140
PURWODADI	52	0	7	14	9	26
LAWANG	42	8	0	21	13	39
PAKIS 1	80	15	20	0	5	16
PAKIS 2	41	8	11	5	0	10
MALANG	128	24	33	15	12	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 26 Arus Jam Puncak Golongan III pada Tahun 2030

GOL 3

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	7	6	13	8	24
PURWODADI	9	0	1	2	1	5
LAWANG	7	1	0	4	2	7
PAKIS 1	14	3	3	0	1	3
PAKIS 2	7	1	2	1	0	2
MALANG	22	4	6	3	2	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 27 Arus Jam Punak Golongan IV pada Tahun 2030

GOL 4

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	3	2	5	3	8
PURWODADI	3	0	0	1	1	2
LAWANG	3	0	0	1	1	2
PAKIS 1	5	1	1	0	0	1
PAKIS 2	2	0	1	0	0	1
MALANG	8	1	2	1	1	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 28 Arus Jam Puncak Golongan V pada Tahun 2030

GOL 5

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	2	2	4	3	7
PURWODADI	3	0	0	1	0	1
LAWANG	2	0	0	1	1	2
PAKIS 1	4	1	1	0	0	1
PAKIS 2	2	0	1	0	0	0
MALANG	7	1	2	1	1	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 29 Arus Jam Puncak Total Golongan pada Tahun 2030

TOTAL

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	264	237	478	291	878
PURWODADI	325	0	44	90	55	165
LAWANG	265	49	0	135	82	247
PAKIS 1	500	93	127	0	33	98
PAKIS 2	260	49	66	31	0	62
MALANG	802	149	204	95	74	0

Sumber : Hasil Perhitungan

5.7.2 Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol

Setelah mendapatkan matriks arus jam puncak, melakukan analisis distribusi kendaraan ke gerbang tol untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar di gerbang tol Pandaan-Malang. Distribusi kendaraan ini dengan cara memasukkan kendaraan pada matrik arus jam puncak ke gerbang tol masuk dan keluar Pandaan-Malang. Berikut ini adalah contoh tabel distribusi kendaraan ke gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2030 :

Tabel 5. 30 Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol Golongan I pada Tahun 2030

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n I
Pandaan	Purwodadi	210	210					
Pandaan	Lawang	188		188				
Pandaan	Pakis 1	380			380			
Pandaan	Pakis 2	232				232		
Pandaan	Malang	698					698	
Purwodadi	Lawang		35	35				
Purwodadi	Pakis 1		71		71			
Purwodadi	Pakis 2		43			43		
Purwodadi	Malang		131				131	
Purwodadi	Pandaan	258	258					
Lawang	Pakis 1			107	107			
Lawang	Pakis 2			65		65		
Lawang	Malang			196			196	
Lawang	Purwodadi		39	39				
Lawang	Pandaan	211		211				
Pakis 1	Pakis 2				26	26		
Pakis 1	Malang				78		78	
Pakis 1	Lawang			101	101			
Pakis 1	Purwodadi		74		74			
Pakis 1	Pandaan	398			398			
Pakis 2	Malang					50	50	
Pakis 2	Pakis 1				25	25		
Pakis 2	Lawang			53		53		
Pakis 2	Purwodadi		39			39		
Pakis 2	Pandaan	207				207		
Malang	Pakis 2					59	59	
Malang	Pakis 1				75		75	
Malang	Lawang			162			162	
Malang	Purwodadi		119				119	
Malang	Pandaan	638					638	

Sumber : Hasil Perhitungan

5.7.3 Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang

Analisis jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang merupakan penjumlahan dari distribusi kendaraan yang masuk dan keluar dari setiap gerbang tol. Untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar dari setiap gerbang tol Pandaan-Malang. Berikut ini adalah tabel jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2030 :

Tabel 5. 31 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2030

Golongan	Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	1708	538	618	677	374	1053	4968
2	342	108	123	136	75	212	996
3	58	18	21	24	13	37	171
4	21	7	7	8	4	13	60
5	7	7	3	3	1	3	24
Total	2136	678	772	848	467	1318	6219

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 32 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2030

Golongan	Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	1712	481	539	658	425	1153	4968
2	343	97	109	131	85	231	996
3	59	16	18	23	16	41	173
4	15	6	7	8	7	15	58
5	7	1	7	8	1	3	27
Total	2136	601	680	828	534	1443	6222

Sumber : Hasil Perhitungan

Karena jumlah kendaraan masuk gerbang tol Pandaan-Malang belum dikali dengan ekr (ekivalen kendaraan ringan) atau emp (ekivalen mobil penumpang). Tabel ekr untuk jalan bebas hambatan 4/2 menurut PKJI sudah tertera pada tabel 5.11. Berikut adalah tabel dari jumlah kendaraan masuk dan keluar ke gerbang tol Pandaan-Malang setelah dikali dengan ekr (ekivalen kendaraan ringan) :

**Tabel 5. 33 Jumlah Kendaraan Masuk ke Gerbang Tol
Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2030**

Golongan	Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang (emp/jam)						
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	Jumlah Kendaraan
1	1708	538	618	677	374	1053	4968
2	410	130	148	163	90	254	1195
3	93	29	34	38	21	59	274
4	34	11	11	13	6	21	96
5	11	11	5	5	2	5	38
Total	2256	719	815	896	493	1392	6572

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 5. 34 Jumlah Kendaraan Keluar dari Gerbang Tol
Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2030**

Golongan	Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang (emp/jam)						
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	Jumlah Kendaraan
1	1712	481	539	658	425	1153	4968
2	412	116	131	157	102	277	1195
3	94	26	29	37	26	66	277
4	24	10	11	13	11	24	93
5	11	2	11	13	2	5	43
Total	2253	634	721	878	565	1525	6576

Sumber : Hasil Perhitungan

5.7.4 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2030

Pada tahap selanjutnya setelah mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan setiap gerbang tol Pandaan-Malang adalah analisis intensitas lalu lintas untuk mengetahui intensitas setiap gardu tol yaitu gardu tol konvensional, gardu tol otomatis, dan gardu tol *On Board Unit*. Untuk menganalisis intensitas lalu lintas menggunakan waktu pelayanan berdasarkan standar pelayanan minimum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol, dan waktu pelayanan berdasarkan survei waktu pelayanan yang telah dilakukan di gerbang tol Cengkareng. Untuk perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang menggunakan sistem gerbang tol tertutup sehingga perlu adanya gardu tol ambil kartu, dan biaya sesuai dengan jarak tempuh yang dilalui oleh kendaraan tersebut.

5.7.4.1 Analisis Intensitas Gerbang I (Gerbang Purwodadi)

Pada perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang, untuk gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* digabung. Namun untuk semua golongan kendaraan dapat memasuki gardu tol otomatis. Untuk perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang tahun 2030 menggunakan 100% gardu tol otomatis tanpa adanya gardu tol konvensional.

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu.

λ : 719 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{719/1}{900} < 1$$

$$\rho = 0,798 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Purwodadi arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 658 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{658/2}{720} < 1$$

$$\rho = 0,457 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Purwodadi arah keluar aman.

5.7.4.2 Analisis Intensitas Gerbang II (Gerbang Lawang)

Untuk analisis intensitas gerbang tol Lawang sama dengan menganalisis gerbang tol Purwodadi. Perhitungan analisis intensitas lalu lintas gerbang tol Lawang sebagai berikut :

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 804 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{804/1}{900} < 1$$

$$\rho = 0,893 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Lawang arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 710 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{710/2}{720} < 1$$

$$\rho = 0,493 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Lawang arah keluar aman.

5.7.4.3 Analisis Intensitas Gerbang III (Gerbang Pakis 1)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 896 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{896/2}{900} < 1$$

$$\rho = 0,497 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 1 arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 878 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 2 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{878/2}{720} < 1$$

$$\rho = 0,609 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 1 arah keluar aman.

5.7.4.4 Analisis Intensitas Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 493 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{493/1}{900} < 1$$

$$\rho = 0,547 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 2 arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 565 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{565/1}{720} < 1$$

$$\rho = 0,785 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 2 arah keluar aman.

5.7.4.5 Analisis Intensitas Gerbang V (Gerbang Malang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 1392 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1392/2}{900} < 1$$

$$\rho = 0,773 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Malang arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis dan *On Board Unit*

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 1525 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 3 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1525/3}{720} < 1$$

$$\rho = 0,706 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Malang arah keluar aman.

5.7.5 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)

Analisis antrian pada gerbang tol untuk mengetahui panjang antrian yang terjadi dan waktu untuk mengantri dalam gerbang tol. Analisis antrian ini menggunakan jumlah gardu yang sama pada analisis intensitas lalu lintas.

5.7.5.1 Analisis Antrian pada Gerbang I (Gerbang Purwodadi)

Dalam analisis antrian masih menggunakan proporsi semua golongan dilayani oleh gardu tol otomatis dan *On Board Unit*. Gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* masih dijadikan 1 gardu tol. Berikut adalah hasil perhitungan analisis antrian pada gerbang tol I :

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 719 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

ρ : 0,798

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,798}{1-0,798} = 3.95 \approx 4 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,798^2}{1-0,798} = 3,15 \approx 3 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 719/1} \times 3600 = 19,88 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 19,88 - \frac{1}{900} \times 3600 = 15,88 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 658 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

ρ : 0,457

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,457}{1-0,457} = 0,841 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,457^2}{1-0,457} = 0,384 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 658/2} \times 3600 = 9,207 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 9,207 - \frac{1}{720} \times 3600 = 4,207 \text{ detik}$$

5.7.5.2 Analisis Antrian pada Gerbang II (Gerbang Lawang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 804 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

ρ : 0,893

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,893}{1-0,893} = 8,345 \approx 8 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,893^2}{1-0,893} = 7,45 \approx 8 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 804/1} \times 3600 = 37,5 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 37,5 - \frac{1}{900} \times 3600 = 33,5 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 710 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

$$\rho : 0,493$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,493}{1-0,493} = 0,972 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,493^2}{1-0,493} = 0,479 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 710/2} \times 3600 = 9,86 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 9,86 - \frac{1}{720} \times 3600 = 4,86 \text{ detik}$$

5.7.5.3 Analisis Antrian pada Gerbang III (Gerbang Pakis I)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 896 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N2) : 2 gardu

$$\rho : 0,497$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,497}{1-0,497} = 0,988 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,497^2}{1-0,497} = 0,491 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 896/2} \times 3600 = 7,964 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 7,964 - \frac{1}{900} \times 3600 = 3,964 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 878 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N2) : 2 gardu

$$\rho : 0,609$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,609}{1-0,609} = 1,557 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,609^2}{1-0,609} = 0,948 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 878/2} \times 3600 = 12,811 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 12,811 - \frac{1}{720} \times 3600 = 7,811 \text{ detik}$$

5.7.5.4 Analisis Antrian pada Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 493 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

ρ : 0,547

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,547}{1-0,547} = 1,207 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,547^2}{1-0,547} = 0,66 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 493/1} \times 3600 = 8,845 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 8,845 - \frac{1}{900} \times 3600 = 4,845 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 565 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

$$\mu : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 1 gardu

$$\rho : 0,785$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,785}{1-0,785} = 3,65 \approx 4 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,785^2}{1-0,785} = 2,866 \approx 3 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 565/1} \times 3600 = 23,22 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 23,22 - \frac{1}{720} \times 3600 = 18,22 \text{ detik}$$

5.7.5.5 Analisis Antrian pada Gerbang V (Gerbang Malang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 1392 emp/jam

Waktu pelayanan : 4 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N) : 2 gardu

ρ : 0,773

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,773}{1-0,773} = 3,405 \approx 3 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,773^2}{1-0,773} = 2,63 \approx 3 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 1392/2} \times 3600 = 17,647 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 17,647 - \frac{1}{900} \times 3600 = 13,647 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

λ (gardu tol otomatis dan *OBU*) : 1525 emp/jam

Waktu pelayanan : 5 detik

μ : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N) : 3 gardu

ρ : 0,706

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,706}{1-0,706} = 2,401 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,706^2}{1-0,706} = 1,695 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 1525/3} \times 3600 = 17,01 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 17,01 - \frac{1}{720} \times 3600 = 12,01 \text{ detik}$$

5.8 Perencanaan Gerbang Tol Pandaan-Malang 2045

Perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2045 dilakukan untuk mengetahui kemampuan gerbang melayani kendaraan yang lewat dengan jumlah kendaraan yang meningkat dari perencanaan sebelumnya yaitu pada tahun 2016. Data yang dibutuhkan pada perencanaan ini adalah sama dengan perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2016 yaitu data lalu lintas. Data lalu lintas pada tahun 2045 didapatkan dari PT. Jasamarga Pandaan Malang. Data lalu lintas pada tahun 2045 tertera pada tabel 4.4 dan tabel 4.5, setelah itu dibuat menjadi matriks asal tujuan dengan metode matriks *demand and load factor*. Berikut ini adalah matriks asal tujuan tol Pandaan-Malang pada tahun 2045 :

Tabel 5. 35 Matriks Asal Tujuan Golongan I pada Tahun 2045

GOL 1

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	3606	3247	6546	4018	12277
PURWODADI	4438	0	600	1210	743	2270
LAWANG	3644	672	0	1824	1120	3421
PAKIS 1	6820	1257	1724	0	439	1343
PAKIS 2	3577	659	904	416	0	860
MALANG	11148	2055	2818	1298	1014	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 36 Matriks Asal Tujuan Golongan II pada Tahun 2045

GOL 2

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	723	651	1312	806	2461
PURWODADI	889	0	120	242	149	455
LAWANG	730	135	0	365	224	685
PAKIS 1	1367	252	346	0	88	269
PAKIS 2	717	132	181	84	0	172
MALANG	2234	412	565	260	203	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 37 Matriks Asal Tujuan Golongan III pada Tahun 2045

GOL 3

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	122	111	222	137	417
PURWODADI	151	0	20	41	25	77
LAWANG	124	23	0	62	38	116
PAKIS 1	231	43	59	0	15	46
PAKIS 2	122	22	31	14	0	29
MALANG	378	70	96	44	34	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 38 Matriks Asal Tujuan Golongan IV pada Tahun 2045

GOL 4

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	44	39	79	48	148
PURWODADI	54	0	7	15	9	27
LAWANG	44	8	0	22	13	41
PAKIS 1	82	15	21	0	5	17
PAKIS 2	43	8	11	5	0	10
MALANG	135	25	34	16	12	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 39 Matriks Asal Tujuan Golongan V pada Tahun 2045**GOL 5**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	39	35	70	43	131
PURWODADI	53	0	6	13	8	25
LAWANG	38	7	0	19	12	37
PAKIS 1	72	14	18	0	5	14
PAKIS 2	37	7	10	4	0	9
MALANG	117	22	30	14	11	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 40 Matriks Asal Tujuan Total Golongan pada Tahun 2045**TOTAL**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	4534	4083	8229	5052	15434
PURWODADI	5585	0	753	1521	934	2854
LAWANG	4580	845	0	2292	1407	4300
PAKIS 1	8572	1581	2168	0	552	1689
PAKIS 2	4496	828	1137	523	0	1080
MALANG	14012	2584	3543	1632	1274	0

Sumber : Hasil Perhitungan

5.8.1 Analisis Tingkat Kedatangan

Setelah mendapatkan matriks yang merupakan kendaraan per hari. Agar matriks asal tujuan ini menjadi arus jam puncak perlu dikali dengan faktor k berdasarkan tabel A.6 Jalan Bebas Hambatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia no 3. Pada tabel 5.1 sudah tertera faktor K yaitu 0,11 dikali dengan matriks asal tujuan. Berikut ini adalah matriks asal tujuan pada tahun 2045 setelah dikali dengan faktor arus jam puncak :

Tabel 5. 41 Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2045**GOL 1**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	397	357	720	442	1350
PURWODADI	488	0	66	133	82	250
LAWANG	401	74	0	201	123	376
PAKIS 1	750	138	190	0	48	148
PAKIS 2	393	72	99	46	0	95
MALANG	1226	226	310	143	112	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 42 Arus Jam Puncak Golongan II pada Tahun 2045**GOL 2**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	80	72	144	89	271
PURWODADI	98	0	13	27	16	50
LAWANG	80	15	0	40	25	75
PAKIS 1	150	28	38	0	10	30
PAKIS 2	79	15	20	9	0	19
MALANG	246	45	62	29	22	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 43 Arus Jam Puncak Golongan III pada Tahun 2045

GOL 3

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	13	12	24	15	46
PURWODADI	17	0	2	5	3	8
LAWANG	14	3	0	7	4	13
PAKIS 1	25	5	6	0	2	5
PAKIS 2	13	2	3	2	0	3
MALANG	42	8	11	5	4	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 44 Arus Jam Puncak Golongan IV pada Tahun 2045

GOL 4

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	5	4	9	5	16
PURWODADI	6	0	1	2	1	3
LAWANG	5	1	0	2	1	5
PAKIS 1	9	2	2	0	1	2
PAKIS 2	5	1	1	1	0	1
MALANG	15	3	4	2	1	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 45 Arus Jam Puncak Golongan V pada Tahun 2045**GOL 5**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	4	4	8	5	14
PURWODADI	6	0	1	1	1	3
LAWANG	4	1	0	2	1	4
PAKIS 1	8	2	2	0	1	2
PAKIS 2	4	1	1	0	0	1
MALANG	13	2	3	2	1	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 46 Arus Jam Puncak Total Golongan pada Tahun 2045**TOTAL**

	PANDAAN	PURWODADI	LAWANG	PAKIS 1	PAKIS 2	MALANG
PANDAAN	0	499	449	905	556	1698
PURWODADI	614	0	83	167	103	314
LAWANG	504	93	0	252	155	473
PAKIS 1	943	174	238	0	61	186
PAKIS 2	495	91	125	58	0	119
MALANG	1541	284	390	180	140	0

Sumber : Hasil Perhitungan

5.8.2 Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol

Setelah mendapatkan matriks arus jam puncak, melakukan analisis distribusi kendaraan ke gerbang tol untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar di gerbang tol Pandaan-Malang. Distribusi kendaraan ini dengan cara memasukkan kendaraan pada matrik arus jam puncak ke gerbang tol masuk dan keluar Pandaan-Malang. Berikut ini adalah contoh tabel distribusi kendaraan ke gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2045 :

Tabel 5. 47 Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol Golongan I pada Tahun 2045

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n I
Pandaan	Purwodadi	397	397					
Pandaan	Lawang	357		357				
Pandaan	Pakis 1	720			720			
Pandaan	Pakis 2	442				442		
Pandaan	Malang	1350					1350	
Purwodadi	Lawang		66	66				
Purwodadi	Pakis 1		133		133			
Purwodadi	Pakis 2		82			82		
Purwodadi	Malang		250				250	
Purwodadi	Pandaan	488	488					
Lawang	Pakis 1			201	201			
Lawang	Pakis 2			123		123		
Lawang	Malang			376			376	
Lawang	Purwodadi		74	74				
Lawang	Pandaan	401		401				
Pakis 1	Pakis 2				48	48		
Pakis 1	Malang				148		148	
Pakis 1	Lawang			190	190			
Pakis 1	Purwodadi		138		138			
Pakis 1	Pandaan	750			750			
Pakis 2	Malang					95	95	
Pakis 2	Pakis 1				46	46		
Pakis 2	Lawang			99		99		
Pakis 2	Purwodadi		72			72		
Pakis 2	Pandaan	393				393		
Malang	Pakis 2					112	112	
Malang	Pakis 1				143		143	
Malang	Lawang			310			310	
Malang	Purwodadi		226				226	
Malang	Pandaan	1226					1226	

Sumber : Hasil Perhitungan

5.8.3 Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang

Analisi jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang merupakan penjumlahan dari distribusi kendaraan yang masuk dan keluar dari setiap gerbang tol. Untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar dari setiap gerbang tol Pandaan-Malang.

Berikut ini adalah tabel jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2045 :

Tabel 5. 48 Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2045

Golongan	Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	3266	1019	1175	1274	705	2017	9456
2	656	204	235	256	142	404	1897
3	110	35	41	43	23	70	322
4	39	13	14	16	9	25	116
5	35	13	12	15	7	21	103
Total	4106	1284	1477	1604	886	2537	11894

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. 49 Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol Pandaan-Malang Tahun 2045

Golongan	Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	3258	907	1022	1243	807	2219	9456
2	653	183	205	249	162	445	1897
3	111	31	34	43	31	75	325
4	40	12	12	16	15	27	122
5	35	10	12	16	9	24	106
Total	4097	1143	1285	1567	1024	2790	11906

Sumber : Hasil Perhitungan

Karena jumlah kendaraan masuk gerbang tol Pandaan-Malang belum dikali dengan ekr (ekivalen kendaraan ringan) atau emp (ekivalen mobil penumpang). Tabel ekr untuk jalan bebas hambatan 4/2 menurut PKJI 2014 sudah tertera pada tabel 5.11. Berikut adalah tabel dari jumlah kendaraan masuk ke gerbang tol setelah dikali dengan ekr (ekivalen kendaraan ringan) :

**Tabel 5. 50 Jumlah Kendaraan Masuk ke Gerbang Tol
Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2045**

Golongan	Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang (emp/jam)						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	3266	1019	1175	1274	705	2017	9456
2	787	245	282	307	170	485	2276
3	176	56	66	69	37	112	515
4	62	21	22	26	14	40	186
5	56	21	19	24	11	34	165
Total	4348	1361	1564	1700	938	2687	12598

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 5. 51 Jumlah Kendaraan Keluar dari Gerbang Tol
Setelah dihitung dengan EKR Tahun 2045**

Golongan	Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang (emp/jam)						Jumlah Kendaraan
	Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	
1	3258	907	1022	1243	807	2219	9456
2	784	220	246	299	194	534	2276
3	178	50	54	69	50	120	520
4	64	19	19	26	24	43	195
5	56	16	19	26	14	38	170
Total	4339	1211	1361	1662	1089	2955	12617

Sumber : Hasil Perhitungan

5.8.4 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2045

Pada tahap selanjutnya setelah mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan setiap gerbang tol Pandaan-Malang adalah analisis intensitas lalu lintas untuk mengetahui intensitas setiap gardu tol yaitu gardu tol konvensional, gardu tol otomatis, dan gardu tol *On Board Unit*. Untuk menganalisis intensitas lalu lintas menggunakan waktu pelayanan berdasarkan standar pelayanan minimum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol, dan waktu pelayanan berdasarkan survei waktu pelayanan yang telah dilakukan di gerbang tol Cengkareng. Untuk perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang menggunakan sistem gerbang tol tertutup sehingga perlu adanya gardu tol ambil kartu, dan biaya sesuai dengan jarak tempuh yang dilalui oleh kendaraan tersebut.

5.8.4.1 Analisis Intensitas Gerbang I (Gerbang Purwodadi)

Pada perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang, untuk gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* dipisah karena melihat perkembangan teknologi yang sangat pesat sehingga untuk gardu tol *On Board Unit* dapat dipisah. Perencanaan gerbang tol Pandaan-Malang menggunakan proporsi kendaraan masuk gerbang tol otomatis 75% dan 25% masuk gardu tol *on board unit*.

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1021 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 340 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{1021/2}{900} < 1$$

$$\rho_1 = 0,567 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{340/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,378 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Purwodadi arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 934 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 311 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{934/2}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,649 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{311/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,346 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Purwodadi arah keluar aman.

5.8.4.2 Analisis Intensitas Gerbang II (Gerbang Lawang)

Untuk analisis intensitas gerbang tol Lawang sama dengan menganalisis gerbang tol Purwodadi. Perhitungan analisis intensitas lalu lintas gerbang tol Lawang sebagai berikut :

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1156 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 385 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{1156/2}{900} < 1$$

$$\rho_1 = 0,642 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{385/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,4278 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Lawang arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1006 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 335 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1 / N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{1006/2}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,698 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2 / N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{335/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,3722 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Lawang arah keluar aman.

5.8.4.3 Analisis Intensitas Gerbang III (Gerbang Pakis 1)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1275 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 425 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{1275/2}{900} < 1$$

$$\rho_1 = 0,708 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{425/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,472 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 1 arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1246 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 415 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{1246/2}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,865 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{415/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,462 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 1 arah keluar aman.

5.8.4.4 Analisis Intensitas Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 703 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 234 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 1 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{703/1}{900} < 1$$

$$\rho_1 = 0,781 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{234/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,26 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 2 arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 817 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 272 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

$$\mu_1 : \frac{1 \times 3600}{5} = 720$$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{817/2}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,567 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{272/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,302 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pakis 2 arah keluar aman.

5.8.4.5 Analisis Intensitas Gerbang V (Gerbang Malang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 2016 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 672 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 3 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (ambil kartu) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{2016/3}{900} < 1$$

$$\rho_1 = 0,747 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (ambil kartu) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{672/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,747 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Malang arah masuk aman.

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 2216 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 739 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 4 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

Gardu tol otomatis (keluar) :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{2216/4}{720} < 1$$

$$\rho_1 = 0,769 < 1 \text{ (OK)}$$

Gardu tol *on board unit* (keluar) :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{739/1}{900} < 1$$

$$\rho_2 = 0,821 < 1 \text{ (OK)}$$

Maka ρ_1 dan ρ_2 yang dianalisis < 1 sehingga intensitas lalu lintas pada gerbang tol Malang arah keluar aman.

5.8.5 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)

Analisis antrian pada gerbang tol untuk mengetahui panjang antrian yang terjadi dan waktu untuk mengantri dalam gerbang tol. Analisis antrian ini menggunakan jumlah gardu yang sama pada analisis intensitas lalu lintas.

5.8.5.1. Analisis Antrian pada Gerbang I (Gerbang Purwodadi)

Dalam analisis antrian masih menggunakan proporsi 75% gardu tol otomatis, dan 25% oleh gardu tol *On Board Unit*. Berikut adalah hasil perhitungan analisis antrian pada gerbang tol I :

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1021 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 340 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) :
1 gardu

$$\rho_1 : 0,567$$

$$\rho_2 : 0,378$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,567}{1-0,567} = 1,309 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,567^2}{1-0,567} = 0,742 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 1021/2} \times 3600 = 9,24 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 9,24 - \frac{1}{900} \times 3600 = 5,24 \text{ detik}$$

Gardu tol masuk untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,378}{1-0,378} = 0,607 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,378^2}{1-0,378} = 0,229 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 340/1} \times 3600 = 6,43 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 6,43 - \frac{1}{900} \times 3600 = 2,43 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 934 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 311 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,649

ρ_2 : 0,346

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,649}{1-0,649} = 1,85 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,649^2}{1-0,649} = 1,2 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 934/2} \times 3600 = 14,23 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 14,23 - \frac{1}{720} \times 3600 = 9,23 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,346}{1-0,346} = 0,53 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,346^2}{1-0,346} = 0,183 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 311/1} \times 3600 = 6,11 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 6,11 - \frac{1}{900} \times 3600 = 2,11 \text{ detik}$$

5.8.5.2 Analisis Antrian pada Gerbang II (Gerbang Lawang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1156 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 385 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,642$$

$$\rho_2 : 0,4278$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,642}{1-0,642} = 1,79 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,642^2}{1-0,642} = 1,15 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 1156/2} \times 3600 = 11,18 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 11,18 - \frac{1}{900} \times 3600 = 7,18 \text{ detik}$$

Gardu tol masuk untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,4278}{1-0,4278} = 0,747 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,4278^2}{1-0,4278} = 0,32 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 385/1} \times 3600 = 6,99 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 6,99 - \frac{1}{900} \times 3600 = 2,99 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1006 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 335 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,698

ρ_2 : 0,372

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,698}{1-0,698} = 2,31 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,698^2}{1-0,698} = 1,61 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 1006/2} \times 3600 = 16,59 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 16,59 - \frac{1}{720} \times 3600 = 11,59 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,3722}{1-0,3722} = 0,593 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,3722^2}{1-0,3722} = 0,22 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 335/1} \times 3600 = 6,37 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 6,37 - \frac{1}{900} \times 3600 = 2,37 \text{ detik}$$

5.8.5.3 Analisis Antrian pada Gerbang III (Gerbang Pakis I)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1275 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 425 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,708$$

$$\rho_2 : 0,472$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,708}{1-0,708} = 2,42 \approx 2 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,708^2}{1-0,708} = 1,71 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 1275/2} \times 3600 = 13,71 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 13,71 - \frac{1}{900} \times 3600 = 9,71 \text{ detik}$$

Gardu tol masuk untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,472}{1-0,472} = 0,894 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,472^2}{1-0,472} = 0,42 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 425/1} \times 3600 = 7,58 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 7,58 - \frac{1}{900} \times 3600 = 3,58 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 1246 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 415 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 2 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,865

ρ_2 : 0,462

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,865}{1-0,865} = 6,45 \approx 6 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,865^2}{1-0,865} = 5,54 \approx 6 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 1246/2} \times 3600 = 37,11 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 37,11 - \frac{1}{720} \times 3600 = 32,11 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,462}{1-0,462} = 0,858 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,462^2}{1-0,462} = 0,397 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 415/1} \times 3600 = 7,42 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 7,42 - \frac{1}{900} \times 3600 = 3,42 \text{ detik}$$

5.8.5.4 Analisis Antrian pada Gerbang IV (Gerbang Pakis 2)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 2016 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 672 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 3 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,747$$

$$\rho_2 : 0,747$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,747}{1-0,747} = 2,95 \approx 3 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,747^2}{1-0,747} = 2,206 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 2016/3} \times 3600 = 15,79 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 15,79 - \frac{1}{900} \times 3600 = 11,79 \text{ detik}$$

Gardu tol masuk untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,747}{1-0,747} = 2,95 \approx 3 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,747^2}{1-0,747} = 2,206 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 672/1} \times 3600 = 15,79 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 15,79 - \frac{1}{900} \times 3600 = 11,79 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 2216 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 739 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 4 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,769

ρ_2 : 0,821

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,769}{1-0,769} = 1,309 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,567^2}{1-0,567} = 0,742 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 817/2} \times 3600 = 11,56 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 37,11 - \frac{1}{720} \times 3600 = 6,56 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,302}{1-0,302} = 0,432 \approx 1 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,302^2}{1-0,302} = 0,13 \approx 1 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 272/1} \times 3600 = 5,73 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5,73 - \frac{1}{900} \times 3600 = 1,73 \text{ detik}$$

5.8.5.5 Analisis Antrian pada Gerbang V (Gerbang Malang)

Diketahui :

Gardu tol (masuk)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol masuk *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 2016 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 672 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 4 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

$$\mu_2 : \frac{1 \times 3600}{4} = 900$$

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis (N1) : 3 gardu

Jumlah gardu tol ambil kartu untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

$$\rho_1 : 0,747$$

$$\rho_2 : 0,747$$

Gardu tol ambil kartu untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,747}{1-0,747} = 2,95 \approx 3 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,747^2}{1-0,747} = 2,206 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 2016/3} \times 3600 = 15,79 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 15,79 - \frac{1}{900} \times 3600 = 11,79 \text{ detik}$$

Gardu tol masuk untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,747}{1-0,747} = 2,95 \approx 3 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,747^2}{1-0,747} = 2,206 \approx 2 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 672/1} \times 3600 = 15,79 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 15,79 - \frac{1}{900} \times 3600 = 11,79 \text{ detik}$$

Diketahui :

Gardu tol (keluar)

Waktu pelayanan 1 adalah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis.

Waktu pelayanan 2 adalah gardu tol keluar *on board unit*.

λ_1 (gardu tol otomatis) : 2216 emp/jam

λ_2 (gardu *OBU*) : 739 emp/jam

Waktu pelayanan 1 : 5 detik

μ_1 : $\frac{1 \times 3600}{5} = 720$

Waktu pelayanan 2 : 4 detik

μ_2 : $\frac{1 \times 3600}{4} = 900$

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis (N1) : 4 gardu

Jumlah gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit* (N2) : 1 gardu

ρ_1 : 0,769

ρ_2 : 0,821

Gardu tol keluar untuk gardu tol otomatis

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,769}{1-0,769} = 3,33 \approx 3 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,769^2}{1-0,769} = 2,56 \approx 3 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{720 - 2216/4} \times 3600 = 21,69 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 21,69 - \frac{1}{720} \times 3600 = 16,69 \text{ detik}$$

Gardu tol keluar untuk gardu tol *on board unit*

$$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,821}{1-0,821} = 4,59 \approx 5 \text{ emp}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,821^2}{1-0,821} = 3,77 \approx 4 \text{ emp} < 10 \text{ emp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \lambda/N} \times 3600 = \frac{1}{900 - 739/1} \times 3600 = 22,36 \text{ detik}$$

$$w = d - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 22,36 - \frac{1}{900} \times 3600 = 18,36 \text{ detik}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

KESIMPULAN dan SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya yang telah dijelaskan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Tingkat Kedatangan

- a. Tingkat kedatangan pada tahun 2016 di gerbang tol Pandaan-Malang sebagai berikut :
 - Gerbang I Purwodadi, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 330 emp/jam
 - Gerbang II Lawang, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 379 emp/jam
 - Gerbang III Pakis 1, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 419 emp/jam
 - Gerbang IV Pakis 2, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 229 emp/jam
 - Gerbang V Malang, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 463 emp/jam
- b. Tingkat kedatangan pada tahun 2030 di gerbang tol Pandaan Malang sebagai berikut :
 - Gerbang I Purwodadi, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 719 emp/jam
 - Gerbang II Lawang, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 815 emp/jam
 - Gerbang III Pakis 1, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 896 emp/jam
 - Gerbang IV Pakis 2, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 493 emp/jam
 - Gerbang V Malang, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 1392 emp/jam

c. Tingkat kedatangan pada tahun 2045 di gerbang tol Pandaan-Malang sebagai berikut :

- Gerbang I Purwodadi, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 1361 emp/jam
- Gerbang II Lawang, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 1564 emp/jam
- Gerbang III Pakis 1, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 1700 emp/jam
- Gerbang IV Pakis 2, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 938 emp/jam
- Gerbang V Malang, tingkat kedatangan kendaraan sebesar 2687 emp/jam

2. Panjang antrian yang telah direncanakan kurang dari 10 kendaraan sudah sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol.

3. Jumlah gerbang tol Pandaan-Malang

a. Menurut hasil perhitungan, jumlah gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2016 sebagai berikut:

- Gerbang I Purwodadi arah masuk terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
- Gerbang II Lawang arah masuk terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
- Gerbang III Pakis 1 arah masuk terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*.

- Gerbang IV Pakis 2 arah masuk terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
 - Gerbang V Malang arah masuk terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol konvensional dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
- b. Menurut hasil perhitungan, jumlah gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2030 sebagai berikut:
- Gerbang I Purwodadi arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
 - Gerbang II Lawang arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
 - Gerbang III Pakis 1 arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
 - Gerbang IV Pakis 2 arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 1 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
 - Gerbang V Malang, arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis dan *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 3 gardu tol otomatis dan *on board unit*.
- c. Menurut hasil perhitungan, jumlah gerbang tol Pandaan-Malang pada tahun 2045 sebagai berikut:
- Gerbang I Purwodadi arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*.
 - Gerbang II Lawang arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*, untuk arah

keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*.

- Gerbang III Pakis 1 arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*.
- Gerbang IV Pakis 2 arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*.
- Gerbang V Malang, arah masuk terdapat 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*, untuk arah keluar terdapat dan 4 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol *on board unit*.

6.2 Saran

Untuk dapat tercapainya perencanaan gerbang tol yang baik perlu diberikan beberapa informasi kepada para pengguna jalan tol, ada beberapa hal yang dapat dilakukan pengelola untuk tercapainya gerbang tol yang baik sesuai dengan standar pelayanan minimum, hal-hal yang dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Sosialisasi kepada pengguna jalan tol untuk meningkatkan penggunaan e-toll card.
2. Mempermudah pengisian (*top up*) dan pembelian e-toll card.
3. Memberikan saran kepada pemerintah untuk memperbanyak fungsi e-toll card agar terjadinya kebiasaan masyarakat menggunakan e-toll card.
4. Diperlukannya survei waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan yang lebih agar analisis waktu pelayanan lebih baik
5. Untuk analisis kedatangan lebih dikaji lagi mengenai penggunaan ekr untuk setiap golongan kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2005 **Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol**. Jakarta.

Anonim. 2004. **Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan**. Jakarta.

Anonim.2011. **Konsep Teori Antrian**,
<URL:<https://sites.google.com/site/operasiproduksi/teori-antrian>>, 18 November 2016.

Badan Pengatur Jalan Tol. 2016. **Tujuan dan Manfaat**,
<URL:<http://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/tujuan-dan-manfaat>>, 7 November 2016.

Badan Standarisasi Nasional.2004. **Rencana Standar Nasional Indonesia T-14-2004 Tentang Geometri Jalan Perkotaan**. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009. **Standar Konstruksi dan Bangunan Nomor 007/BM/2009 Tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol**. Jakarta.

Jasa Marga.2013. **Launching E-Toll Pass**, <URL:
http://www.jasamarga.com/id_/berita/item/306-launching-e-toll-pass>, 20 Januari 2017.

Jawa Pos.2016. **Tol Pandaan – Malang Rampung 2018**,
<URL:<http://www.jawapos.com/read/2016/06/10/33342/tol-pandaan-malang-rampung-2018->>>, 7 November 2016.

Kakiay,T.J.2004. **Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata**. Yogyakarta. Penerbit Andi Offset.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2007. **Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/2007 Tentang Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol Yang Sudah Beroperasi**. Jakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. **Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 Tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan**. Jakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2014. **Pedoman Kapasitas Jalan Bebas Hambatan**. Bandung.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2014. **Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/M/2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol**. Jakarta

Oglesby, C.H. & Hicks. R. G. **Teknik Jalan Raya Edisi Keempat Jilid 1**, Terj. P. Setianto, Jakarta: Erlangga, 1990

Pranata, R.Z & Widayastuti, H. 2017. **Analisis Kinerja Pelayanan Pintu Tol Gempol-Pasuruan**. Surabaya

Tamin, O.Z. 2003. **Perencanaan dan Pemodelan Transportasi**. Bandung. Penerbit ITB.

Wulandari, P.M & Arif. H. 2013. **Analisis Efektifitas Pelayanan Antrian Pada Gardu Tol Otomatis dan Gardu Tol Reguler**. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Golongan I Arah Pandaan-Malang

Tahun	L1A	AA	BA	L2A	CA	DA	L3A	EA	FA	L4A	GA	HA	L5A
2016	5157	892	1189	5454	943	1554	6065	2371	442	4136	1543	211	2804
2017	5428	929	1238	5737	982	1619	6374	2469	461	4365	1608	220	2977
2018	6193	993	1324	6524	1051	1732	7205	2639	492	5201	1720	235	3573
2019	6944	1060	1413	7297	1122	1849	8024	2817	526	5733	1837	251	4147
2020	7664	1123	1498	8038	1189	1960	8809	2984	557	6381	1946	266	4701
2025	11423	1483	1979	11918	1573	2593	12939	3941	735	9733	2576	352	7509
2030	15533	1912	2552	16173	2031	3352	17494	5080	947	13361	3330	454	10486
2035	20089	2409	3217	20898	2562	4232	22567	6401	1192	17359	4203	573	13729
2040	24618	2976	3977	25619	3170	5241	27690	7908	1472	21255	5205	709	16758
2045	29694	3606	4823	30911	3847	6364	33427	9580	1782	25630	6320	860	20170
2050	34827	4223	5651	36254	4515	7471	39211	11219	2086	30078	7419	1009	23667
2055	40197	4865	6516	41848	5208	8628	45268	12924	2402	34745	8568	1164	27341
2060	45992	5550	7437	47879	5947	9862	51794	14744	2738	39787	9794	1329	31323

Data Lalu Lintas Golongan II Arah Pandaan-Malang

Tahun	L1A	AA	BA	L2A	CA	DA	L3A	EA	FA	L4A	GA	HA	L5A
2016	1034	179	238	1093	189	311	1215	475	89	829	309	42	562
2017	1088	186	248	1150	197	324	1277	495	92	875	322	44	597
2018	1241	199	265	1307	211	347	1444	529	99	1042	345	47	716
2019	1392	212	283	1462	225	371	1608	564	105	1149	368	50	831
2020	1536	225	300	1611	238	393	1765	598	112	1279	390	53	942
2025	2289	297	397	2388	315	520	2593	790	147	1950	516	70	1505
2030	3113	383	512	3241	407	672	3506	1018	190	2678	667	91	2101
2035	4026	483	645	4188	513	848	4522	1283	239	3479	842	115	2751
2040	4934	596	797	5134	635	1050	5549	1585	295	4259	1043	142	3358
2045	5951	723	966	6195	771	1275	6699	1920	357	5136	1267	172	4042
2050	6979	846	1132	7265	905	1497	7858	2248	418	6028	1487	202	4743
2055	8056	975	1306	8387	1044	1729	9072	2590	481	6963	1717	233	5479
2060	9217	1112	1490	9595	1192	1976	10380	2955	549	7974	1963	266	6277

Data Lalu Lintas Golongan III Arah Pandaan-Malang

Tahun	L1A	AA	BA	L2A	CA	DA	L3A	EA	FA	L4A	GA	HA	L5A
2016	175	30	40	185	32	53	206	80	15	140	52	7	95
2017	184	32	42	195	33	55	216	84	16	148	55	7	101
2018	210	34	45	221	36	59	245	90	17	177	58	8	121
2019	236	36	48	248	38	63	272	96	18	195	62	9	141
2020	260	38	51	273	40	67	299	101	19	217	66	9	160
2025	388	50	67	405	53	88	439	134	25	330	87	12	255
2030	527	65	87	549	69	114	594	172	32	454	113	15	356
2035	682	82	109	709	87	144	766	217	40	589	143	19	466
2040	836	101	135	870	108	178	940	268	50	721	177	24	569
2045	1008	122	164	1049	131	216	1135	325	61	870	215	29	685
2050	1182	143	192	1231	153	254	1331	381	71	1021	252	34	803
2055	1364	165	221	1421	177	293	1537	439	82	1179	291	40	928
2060	1561	188	252	1625	202	335	1758	500	93	1351	332	45	1063

Data Lalu Lintas Golongan IV Arah Pandaan-Malang

Tahun	L1A	AA	BA	L2A	CA	DA	L3A	EA	FA	L4A	GA	HA	L5A
2016	62	11	14	66	11	19	73	29	5	50	19	3	34
2017	66	11	15	69	12	20	77	30	6	53	19	3	36
2018	75	12	16	79	13	21	87	32	6	63	21	3	43
2019	84	13	17	88	14	22	97	34	6	69	22	3	50
2020	92	14	18	97	14	24	106	36	7	77	23	3	57
2025	138	18	24	144	19	31	156	48	9	117	31	4	91
2030	187	23	31	195	25	40	211	61	11	161	40	5	127
2035	242	29	39	252	31	51	272	77	14	210	51	7	166
2040	297	36	48	309	38	63	334	95	18	257	63	9	202
2045	358	44	58	373	46	77	403	116	22	309	76	10	243
2050	420	51	68	438	54	90	473	135	25	363	90	12	286
2055	485	59	79	505	63	104	546	156	29	419	103	14	330
2060	555	67	90	578	72	119	625	178	33	480	118	16	378

Data Lalu Lintas Golongan V Arah Pandaan-Malang

Tahun	L1A	AA	BA	L2A	CA	DA	L3A	EA	FA	L4A	GA	HA	L5A
2016	55	10	13	58	10	17	65	25	5	44	16	2	30
2017	58	10	13	61	10	17	68	26	5	47	17	2	32
2018	66	11	14	70	11	19	77	28	5	56	18	3	38
2019	74	11	15	78	12	20	86	30	6	61	20	3	44
2020	82	12	16	86	13	21	94	32	6	68	21	3	50
2025	122	16	21	127	17	28	138	42	8	104	28	4	80
2030	166	20	27	173	22	36	187	54	10	143	36	5	112
2035	215	26	34	223	27	45	241	68	13	186	45	6	147
2040	263	32	43	274	34	56	296	85	16	227	56	8	179
2045	317	39	52	330	41	68	357	102	19	274	68	9	216
2050	372	45	60	387	48	80	419	120	22	321	79	11	253
2055	430	52	70	447	56	92	484	138	26	371	92	12	292
2060	491	59	79	512	64	105	553	158	29	425	105	14	335

Lampiran 2 Data Lalu Lintas Golongan I Arah Malang-Pandaan

Tahun	L1B	AB	BB	L2B	CB	DB	L3B	EB	FB	L4B	GB	HB	L5B
2016	5963	1094	1149	6018	1055	1335	6299	2434	425	4290	1363	247	3174
2017	6245	1140	1196	6302	1098	1390	6594	2533	442	4503	1419	258	3341
2018	6918	1219	1279	6978	1175	1487	7291	2708	472	5055	1518	276	3813
2019	7588	1300	1365	7653	1254	1588	7987	2890	504	5601	1620	295	4276
2020	8230	1378	1446	8298	1329	1683	8652	3061	535	6125	1717	313	4720
2025	11676	1821	1910	11765	1759	2226	12232	4041	706	8896	2271	414	7038
2030	15558	2349	2462	15671	2273	2875	16272	5207	909	11974	2933	535	9576
2035	19928	2960	3102	20070	2870	3627	20827	6555	1145	15417	3700	674	12392
2040	24509	3660	3832	24681	3554	4488	25615	8095	1415	18935	4578	835	15192
2045	29626	4438	4643	29831	4316	5447	30963	9801	1714	22876	5557	1014	18333
2050	34744	5200	5437	34982	5067	6392	36307	11473	2008	26842	6520	1191	21512
2055	40106	5996	6264	40375	5851	7374	41898	13210	2313	31001	7522	1375	24854
2060	45821	6844	7146	46124	6688	8421	47857	15055	2639	35441	8590	1572	28423

Data Lalu Lintas Golongan II Arah Malang-Pandaan

Tahun	L1B	AB	BB	L2B	CB	DB	L3B	EB	FB	L4B	GB	HB	L5B
2016	1195	219	230	1206	211	268	1262	488	85	860	273	50	636
2017	1252	228	240	1263	220	279	1321	508	89	902	284	52	670
2018	1386	244	256	1398	235	298	1461	543	95	1013	304	55	764
2019	1521	261	274	1534	251	318	1601	579	101	1122	325	59	857
2020	1649	276	290	1663	266	337	1734	614	107	1227	344	63	946
2025	2340	365	383	2358	352	446	2451	810	141	1783	455	83	1411
2030	3118	471	493	3140	456	576	3261	1044	182	2400	588	107	1919
2035	3994	593	622	4022	575	727	4174	1314	230	3090	742	135	2483
2040	4912	733	768	4946	712	899	5133	1622	284	3795	918	167	3045
2045	5937	889	930	5978	865	1092	6205	1964	344	4584	1114	203	3674
2050	6963	1042	1090	7010	1015	1281	7276	2299	402	5379	1307	239	4311
2055	8037	1202	1255	8091	1173	1478	8396	2647	464	6213	1507	276	4981
2060	9183	1371	1432	9243	1340	1688	9591	3017	529	7102	1721	315	5696

Data Lalu Lintas Golongan III Arah Malang-Pandaan

Tahun	L1B	AB	BB	L2B	CB	DB	L3B	EB	FB	L4B	GB	HB	L5B
2016	202	37	39	204	36	45	214	83	14	146	46	8	108
2017	212	39	41	214	37	47	224	86	15	153	48	9	113
2018	235	41	43	237	40	50	247	92	16	172	52	9	129
2019	258	44	46	260	43	54	271	98	17	190	55	10	145
2020	279	47	49	282	45	57	294	104	18	208	58	11	160
2025	396	62	65	399	60	76	415	137	24	302	77	14	239
2030	528	80	84	532	77	98	552	177	31	406	100	18	325
2035	676	100	105	681	97	123	707	223	39	523	126	23	421
2040	832	124	130	838	121	152	870	275	48	643	155	28	516
2045	1006	151	158	1013	147	185	1051	333	58	777	189	34	622
2050	1179	176	185	1187	172	217	1232	389	68	911	221	40	730
2055	1361	204	213	1371	199	250	1422	448	79	1052	255	47	844
2060	1555	232	243	1566	227	286	1625	511	90	1203	292	53	965

Data Lalu Lintas Golongan IV Arah Malang-Pandaan

Tahun	L1B	AB	BB	L2B	CB	DB	L3B	EB	FB	L4B	GB	HB	L5B
2016	72	13	14	73	13	16	76	29	5	52	16	3	38
2017	75	14	14	76	13	17	80	31	5	54	17	3	40
2018	83	15	15	84	14	18	88	33	6	61	18	3	46
2019	92	16	16	92	15	19	96	35	6	68	20	4	52
2020	99	17	17	100	16	20	104	37	6	74	21	4	57
2025	141	22	23	142	21	27	148	49	9	107	27	5	85
2030	188	28	30	189	27	35	196	63	11	145	35	6	116
2035	241	36	37	242	35	44	251	79	14	186	45	8	150
2040	296	44	46	298	43	54	309	98	17	229	55	10	183
2045	358	54	56	360	52	66	374	118	21	276	67	12	221
2050	419	63	66	422	61	77	438	138	24	324	79	14	260
2055	484	72	76	487	71	89	506	159	28	374	91	17	300
2060	553	83	86	557	81	102	578	182	32	428	104	19	343

Data Lalu Lintas Golongan V Arah Malang-Pandaan

Tahun	L1B	AB	BB	L2B	CB	DB	L3B	EB	FB	L4B	GB	HB	L5B
2016	64	13	12	64	11	14	67	26	5	46	15	3	34
2017	67	14	13	67	12	15	70	27	5	48	15	3	36
2018	74	15	14	75	13	16	78	29	5	54	16	3	41
2019	81	16	15	82	13	17	85	31	5	60	17	3	46
2020	88	17	15	89	14	18	92	33	6	65	18	3	50
2025	125	22	20	126	19	24	131	43	8	95	24	4	75
2030	166	28	26	167	24	31	174	56	10	128	31	6	102
2035	213	36	33	214	31	39	223	70	12	165	40	7	132
2040	262	44	41	264	38	48	274	87	15	202	49	9	162
2045	317	54	50	319	46	58	331	105	18	244	59	11	196
2050	371	63	58	374	54	68	388	123	21	287	70	13	230
2055	429	72	67	431	63	79	448	141	25	331	80	15	266
2060	490	83	76	493	71	90	511	161	28	379	92	17	304

Lampiran 3 Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan I Arah Pandaan-Malang

Gol 1	1	2	3	4	5	6	
1	0	892	4265	3527,579	2148,537	1346,991	5157
2	0	0	1189	983,4212	598,9708	375,5153	1189
3	0	0	0	1554	946,4923	593,3884	1554
4	0	0	0	0	442	277,1049	442
5	0	0	0	0	0	211	211
6	0	0	0	0	0	0	0

0 892 943 2371 1543 2804
 5157 5454 6065 4136 2804
 0,172969 0,172901 0,390932 0,373066 1

Gol 1	1	2	3	4	5	6	
1	0	892	737	1379	802	1347	5157
2	0	0	206	384	223	376	1189
3	0	0	0	608	353	593	1554
4	0	0	0	0	165	277	442
5	0	0	0	0	0	211	211
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan II Arah Pandaan-Malang

Gol 2	1	2	3	4	5	6	
1	0	179	855	707	431	270	1034
2	0	0	238	197	120	75	238
3	0	0	0	311	189	119	311
4	0	0	0	0	89	56	89
5	0	0	0	0	0	42	42
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	179	189	475	309	562	
		1034	1093	1215	829	562	
		0,1731	0,1729	0,3909	0,3727	1	

Gol 2	1	2	3	4	5	6	
1	0	179	148	276	161	270	1034
2	0	0	41	77	45	75	238
3	0	0	0	122	71	119	311
4	0	0	0	0	33	56	89
5	0	0	0	0	0	42	42
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan III Arah Pandaan-Malang

Gol 3	1	2	3	4	5	6	
1	0	30	145	120	73	46	175
2	0	0	40	33	20	13	40
3	0	0	0	53	32	20	53
4	0	0	0	0	15	9	15
5	0	0	0	0	0	7	7
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	30	32	80	52	95	
		175	185	206	141	96	
		0,17143	0,17297	0,38835	0,36879	0,98958	

Gol 3	1	2	3	4	5	6	
1	0	30	25	47	27	46	175
2	0	0	7	13	7	13	40
3	0	0	0	21	12	20	53
4	0	0	0	0	6	9	15
5	0	0	0	0	0	7	7
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan IV Arah Pandaan-Malang

Gol 4	1	2	3	4	5	6	
1	0	11	51	42,36923	25,53762	15,63528	62
2	0	0	14	11,63077	7,010327	4,292037	14
3	0	0	0	19	11,45205	7,011462	19
4	0	0	0	0	5	3,061224	5
5	0	0	0	0	0	3	3
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	11	11	29	19	34	
		62	65	73	49	33	
		0,177419	0,169231	0,39726	0,387755	1,030303	

Gol 4	1	2	3	4	5	6	
1	0	11	9	17	10	16	62
2	0	0	2	5	3	4	14
3	0	0	0	8	4	7	19
4	0	0	0	0	2	3	5
5	0	0	0	0	0	3	3
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan V Arah Pandaan-Malang

Gol 5	1	2	3	4	5	6	
1	0	10	45	37,24138	22,91777	14,76923	55
2	0	0	13	10,75862	6,62069	4,266667	13
3	0	0	0	17	10,46154	6,74188	17
4	0	0	0	0	5	3,222222	5
5	0	0	0	0	0	2	2
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	10	10	25	16	30	
		55	58	65	45	31	
		0,181818	0,172414	0,384615	0,355556	0,967742	

Gol 5	1	2	3	4	5	6	
1	0	10	8	14	8	14	55
2	0	0	2	4	2	4	13
3	0	0	0	7	4	7	17
4	0	0	0	0	2	3	5
5	0	0	0	0	0	2	2
6	0	0	0	0	0	0	0

Lampiran 4 Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan I Arah Malang-Pandaan

Gol 1	1	2	3	4	5	6	
1	0	247	2927	2637,029138	2078,141394	1681	3174
2	0	0	1363	1227,970862	967,716679	782,9839221	1363
3	0	0	0	2434	1918,141927	1551,97727	2434
4	0	0	0	0	1055	853,60525	1055
5	0	0	0	0	0	1094	1094
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	1094	425	1335	1149	5963	
		3174	4290	6299	6019	5964	
		0,344675488	0,099067599	0,211938403	0,190895498	0,999832327	

Gol 1	1	2	3	4	5	6	
1	0	247	290	559	397	1681	3174
2	0	0	135	260	185	783	1363
3	0	0	0	516	366	1552	2434
4	0	0	0	0	201	853	1055
5	0	0	0	0	0	1094	1094
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan II Arah Malang-Pandaan

Gol 2	1	2	3	4	5	6	
1	0	50	586	528,0139697	415,8842202	337	636
2	0	0	273	245,9860303	193,7481094	156,7671425	273
3	0	0	0	488	384,3676704	311,0028868	488
4	0	0	0	0	211	170,7261411	211
5	0	0	0	0	0	219	219
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	50	85	268	230	1195	
		636	859	1262	1205	1194	
		0,078616352	0,09895227	0,212361331	0,190871369	1,000837521	

Gol 2	1	2	3	4	5	6	
1	0	50	58	112	79	337	636
2	0	0	27	52	37	157	273
3	0	0	0	104	73	311	488
4	0	0	0	0	40	171	211
5	0	0	0	0	0	219	219
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan III Arah Malang-Pandaan

Gol 3	1	2	3	4	5	6	
1	0	8	100	90	71,48773495	58	108
2	0	0	46	41,5890411	32,88435808	26,65867863	46
3	0	0	0	83	65,62790698	53,20320614	83
4	0	0	0	0	36	29,18446602	36
5	0	0	0	0	0	37	37
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	8	14	45	39	202	
		108	146	215	206	204	
		0,0741	0,095890411	0,209302326	0,189320388	0,990196078	

Gol 3	1	2	3	4	5	6	
1	0	8	10	19	14	57	108
2	0	0	4	9	6	26	46
3	0	0	0	17	12	53	83
4	0	0	0	0	7	29	36
5	0	0	0	0	0	37	37
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan IV Arah Malang-Pandaan

Gol 4	1	2	3	4	5	6	
1	0	3	35	32	24,83398693	20	38
2	0	0	16	14,43137255	11,35267974	9,145214234	16
3	0	0	0	29	22,81333333	18,37740741	29
4	0	0	0	0	13	10,47222222	13
5	0	0	0	0	0	13	13
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	3	5	16	14	72	
		38	51	75	72	71	
		0,078947368	0,098039216	0,213333333	0,194444444	1,014084507	

Gol 4	1	2	3	4	5	6	
1	0	3	3	7	5	20	38
2	0	0	2	3	2	9	16
3	0	0	0	6	4	19	29
4	0	0	0	0	3	11	13
5	0	0	0	0	0	13	13
6	0	0	0	0	0	0	0

Matriks *Demand and Load Factor* 2016 Golongan V Arah Malang-Pandaan

Gol 5	1	2	3	4	5	6	
1	0	3	31	28	21,8569111	18	34
2	0	0	15	13,36956522	10,57592472	8,592938838	12
3	0	0	0	26	20,56716418	16,7108209	14
4	0	0	0	0	11	8,9375	5
5	0	0	0	0	0	13	3
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	3	5	14	12	64	
		34	46	67	64	65	
		0,088235294	0,108695652	0,208955224	0,1875	0,984615385	
Gol 5	1	2	3	4	5	6	
1	0	3	3	6	4	17	34
2	0	0	2	3	2	8	12
3	0	0	0	5	4	16	14
4	0	0	0	0	2	9	5
5	0	0	0	0	0	13	3
6	0	0	0	0	0	0	0

Lampiran 5 Distribusi Kendaraan Golongan I

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n I
Pandaan	Purwodadi	98	98					
Pandaan	Lawang	81		81				
Pandaan	Pakis 1	152			152			
Pandaan	Pakis 2	88				88		
Pandaan	Malang	148					48	
Purwodadi	Lawang		23	23				
Purwodadi	Pakis 1		42		42			
Purwodadi	Pakis 2		25			25		
Purwodadi	Malang		41				41	
Purwodadi	Pandaan	120	120					
Lawang	Pakis 1			67	67			
Lawang	Pakis 2			39		39		
Lawang	Malang			65			65	
Lawang	Purwodadi		22	22				
Lawang	Pandaan	94		94				
Pakis 1	Pakis 2				18	18		
Pakis 1	Malang				30		30	
Pakis 1	Lawang			57	57			
Pakis 1	Purwodadi		40		40			
Pakis 1	Pandaan	171			171			
Pakis 2	Malang					23	23	
Pakis 2	Pakis 1				15	15		
Pakis 2	Lawang			30		30		
Pakis 2	Purwodadi		20			20		
Pakis 2	Pandaan	86				86		
Malang	Pakis 2					27	27	
Malang	Pakis 1				32		32	
Malang	Lawang			61			61	
Malang	Purwodadi		44				44	
Malang	Pandaan	185					185	

Distribusi Kendaraan Golongan II

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n 2
Pandaan	Purwodadi	20	20					
Pandaan	Lawang	16		16				
Pandaan	Pakis 1	30			30			
Pandaan	Pakis 2	18				18		
Pandaan	Malang	30					30	
Purwodadi	Lawang		5	5				
Purwodadi	Pakis 1		8		8			
Purwodadi	Pakis 2		5			5		
Purwodadi	Malang		8				8	
Purwodadi	Pandaan	24	24					
Lawang	Pakis 1			13	13			
Lawang	Pakis 2			8		8		
Lawang	Malang			13			13	
Lawang	Purwodadi		4	4				
Lawang	Pandaan	19		19				
Pakis 1	Pakis 2				4	4		
Pakis 1	Malang				6		6	
Pakis 1	Lawang			11	11			
Pakis 1	Purwodadi		8		8			
Pakis 1	Pandaan	34			34			
Pakis 2	Malang					5	5	
Pakis 2	Pakis 1				3	3		
Pakis 2	Lawang			6		6		
Pakis 2	Purwodadi		4			4		
Pakis 2	Pandaan	17				17		
Malang	Pakis 2					6	6	
Malang	Pakis 1				6		6	
Malang	Lawang			12			12	
Malang	Purwodadi		9				9	
Malang	Pandaan	37					37	

Distribusi Kendaraan Golongan III

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n 3
Pandaan	Purwodadi	3	3					
Pandaan	Lawang	3		3				
Pandaan	Pakis 1	5			5			
Pandaan	Pakis 2	3				3		
Pandaan	Malang	5					5	
Purwodadi	Lawang		1	1				
Purwodadi	Pakis 1		1		1			
Purwodadi	Pakis 2		1			1		
Purwodadi	Malang		1				1	
Purwodadi	Pandaan	4	4					
Lawang	Pakis 1			2	2			
Lawang	Pakis 2			1		1		
Lawang	Malang			2			2	
Lawang	Purwodadi		1	1				
Lawang	Pandaan	3		3				
Pakis 1	Pakis 2				1	1		
Pakis 1	Malang				1		2	
Pakis 1	Lawang			2	2			
Pakis 1	Purwodadi		1		1			
Pakis 1	Pandaan	6			6			
Pakis 2	Malang					1	1	
Pakis 2	Pakis 1				0	0		
Pakis 2	Lawang			1		1		
Pakis 2	Purwodadi		1			1		
Pakis 2	Pandaan	3				3		
Malang	Pakis 2					1	1	
Malang	Pakis 1				1		1	
Malang	Lawang			2			2	
Malang	Purwodadi		2				2	
Malang	Pandaan	6					6	

Distribusi Kendaraan Golongan IV

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n 4
Pandaan	Purwodadi	1	1					
Pandaan	Lawang	1		1				
Pandaan	Pakis 1	2			2			
Pandaan	Pakis 2	1				1		
Pandaan	Malang	2					2	
Purwodadi	Lawang		0	0				
Purwodadi	Pakis 1		1		1			
Purwodadi	Pakis 2		0			0		
Purwodadi	Malang		0				0	
Purwodadi	Pandaan	1	1					
Lawang	Pakis 1			1	1			
Lawang	Pakis 2			0		0		
Lawang	Malang			1			1	
Lawang	Purwodadi		0	0				
Lawang	Pandaan	1		1				
Pakis 1	Pakis 2				0	0		
Pakis 1	Malang				0		0	
Pakis 1	Lawang			1	1			
Pakis 1	Purwodadi		0		0			
Pakis 1	Pandaan	2			2			
Pakis 2	Malang					0	0	
Pakis 2	Pakis 1				0	0		
Pakis 2	Lawang			0		0		
Pakis 2	Purwodadi		0			0		
Pakis 2	Pandaan	1				1		
Malang	Pakis 2					0	0	
Malang	Pakis 1				0		0	
Malang	Lawang			1			1	
Malang	Purwodadi		1				1	
Malang	Pandaan	2					2	

Distribusi Kendaraan Golongan V

Zona		Pandaan	Purwodadi	Lawang	Pakis 1	Pakis 2	Malang	G o l o n g a n 5
Pandaan	Purwodadi	1	1					
Pandaan	Lawang	1		1				
Pandaan	Pakis 1	2			2			
Pandaan	Pakis 2	1				1		
Pandaan	Malang	2					2	
Purwodadi	Lawang		0	0				
Purwodadi	Pakis 1		0		0			
Purwodadi	Pakis 2		0			0		
Purwodadi	Malang		0				0	
Purwodadi	Pandaan	1	1					
Lawang	Pakis 1			1	1			
Lawang	Pakis 2			0		0		
Lawang	Malang			1			1	
Lawang	Purwodadi		0	0				
Lawang	Pandaan	1		1				
Pakis 1	Pakis 2				0	0		
Pakis 1	Malang				0		0	
Pakis 1	Lawang			1	1			
Pakis 1	Purwodadi		0		0			
Pakis 1	Pandaan	2			2			
Pakis 2	Malang					0	0	
Pakis 2	Pakis 1				0	0		
Pakis 2	Lawang			0		0		
Pakis 2	Purwodadi		0			0		
Pakis 2	Pandaan	1				1		
Malang	Pakis 2					0	0	
Malang	Pakis 1				0		0	
Malang	Lawang			1			1	
Malang	Purwodadi		0				0	
Malang	Pandaan	2					2	



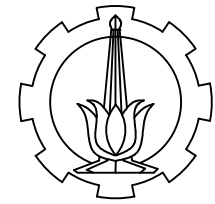
GERBANG TOL PURWODADI

GERBANG TOL LAWANG

GERBANG TOL PAKIS 1

GERBANG TOL PAKIS 2

GERBANG TOL MALANG



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

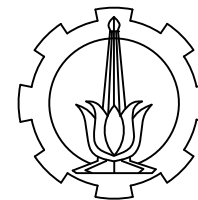
TOL PANDAAN-MALANG

NOMOR
HALAMAN

208



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PURWODADI 2016

NOMOR
HALAMAN

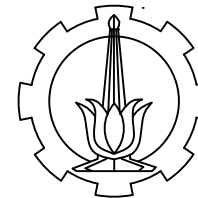
209

Gerbang Tol Purwodadi (Jalan Raya Surabaya Malang dekat Kebun Raya Purwodadi)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
B	Gardu Tol Konvensional	Keluar
C	Gardu Tol Konvensional	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 1 2016

NOMOR
HALAMAN

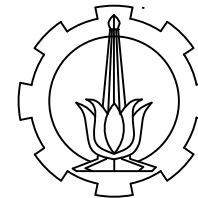
211

Gerbang Tol Pakis 1 (Jalan Raya Karanglo dekat Solaris Hotel Malang)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
B	Gardu Tol Konvensional	Keluar
C	Gardu Tol Konvensional	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 1 2016

NOMOR
HALAMAN

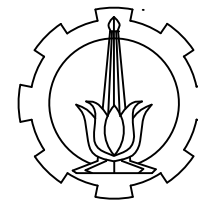
211

Gerbang Tol Pakis 1 (Jalan Raya Karanglo dekat Solaris Hotel Malang)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
B	Gardu Tol Konvensional	Keluar
C	Gardu Tol Konvensional	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 2 2016

NOMOR
HALAMAN

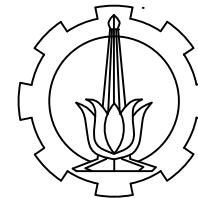
212

Gerbang Pakis 2 (Jalan Ampeldento Pakis dekat Perumahan Saptoraya)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
B	Gardu Tol Konvensional	Keluar
C	Gardu Tol Konvensional	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL MALANG 2016

NOMOR
HALAMAN

213

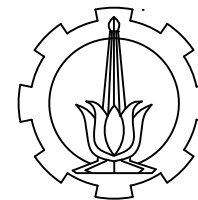


Gerbang Tol Malang (Jalan Madyopuro Kota Malang dekat Pasar Madyopuro)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Konvensional	Masuk
C	Gardu Tol Konvensional	Keluar
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PURWODADI 2032

NOMOR
HALAMAN

214

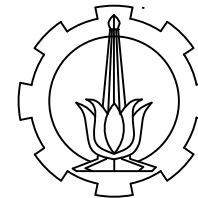


Gerbang Tol Purwodadi (Jalan Raya Surabaya Malang dekat Kebun Raya Purwodadi)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL LAWANG 2032

NOMOR
HALAMAN

215

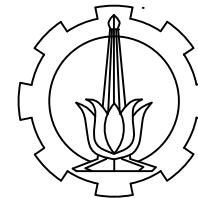


Gerbang Tol Lawang (Jalan Dr.Cipto dekat Rumah Sakit Lawang Medika)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Tidak Difungsikan	Keluar
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 1 2032

NOMOR
HALAMAN

216

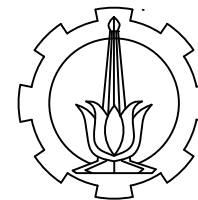


Gerbang Tol Pakis 1 (Jalan Raya Karanglo dekat Solaris Hotel Malang)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 2 2032

NOMOR
HALAMAN

217

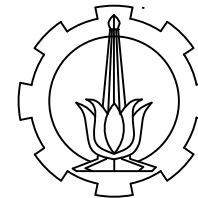


Gerbang Pakis 2 (Jalan Ampeldento Pakis dekat Perumahan Saptoraya)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol tidak difungsikan	Keluar
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol tidak difungsikan	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL MALANG 2032

NOMOR
HALAMAN

218

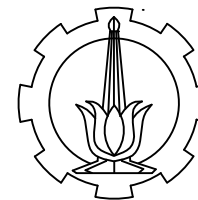


Gerbang Tol Malang (Jalan Madyopuro Kota Malang dekat Pasar Madyopuro)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
E	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PURWODADI 2045

NOMOR
HALAMAN

219

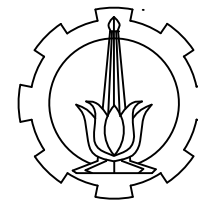


Gerbang Tol Purwodadi (Jalan Raya Surabaya Malang dekat Kebun Raya Purwodadi)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu <i>On Board Unit</i>	Keluar
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
E	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
F	Gardu Tol <i>On Board Unit</i>	Masuk



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

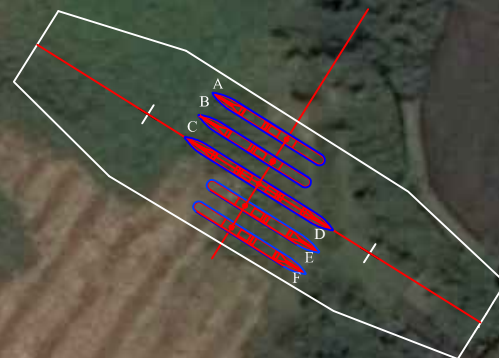
NAMA GAMBAR

GERBANG TOL LAWANG 2045

NOMOR
HALAMAN

220

MASUK

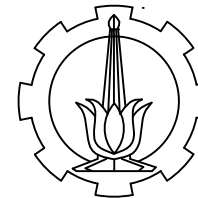


Gerbang Tol Lawang (Jalan Dr.Cipto dekat Rumah Sakit Lawang Medika)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
E	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
F	Gardu Tol <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

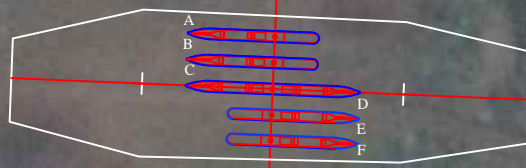
NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 1 2045

NOMOR
HALAMAN

221

MASUK →

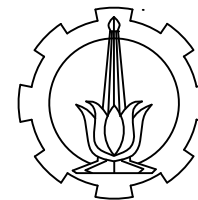


Gerbang Tol Pakis 1 (Jalan Raya Karanglo dekat Solaris Hotel Malang)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
E	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
F	Gardu Tol <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.Phd

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL PAKIS 2 2045

NOMOR
HALAMAN

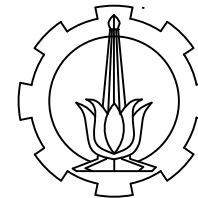
222

Gerbang Pakis 2 (Jalan Ampeldento Pakis dekat Perumahan Saptoraya)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
E	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
F	Gardu Tol <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100



TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GERBANG TOL
PANDAAN-MALANG

DOSEN ASISTENSI

Ir.Hera Widyastuti MT.PhD

NAMA MAHASISWA

MAGISTRA ZUHAIR WASISTHA
(3113100121)

NAMA GAMBAR

GERBANG TOL MALANG 2045

NOMOR
HALAMAN

223



Gerbang Tol Malang (Jalan Madyopuro Kota Malang dekat Pasar Madyopuro)

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	Gardu <i>On Board Unit</i>	Masuk
B	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
C	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
D	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Masuk
E	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
F	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
G	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
H	Gardu Tol Otomatis dan <i>On Board Unit</i>	Keluar
I	Gardu Tol <i>On Board Unit</i>	Keluar



SKALA 1:100

BIODATA PENULIS



Magistra Zuhair Wasistha
Penulis dilahirkan di Jakarta, tanggal 31 Agustus 1995, merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh Pendidikan formal, yaitu TK Islam Al-Azhar 09 Jakarta, SD Islam Al-Azhar 08 Jakarta, SMP Negeri 75 Jakarta, dan SMA Negeri 112 Jakarta. Setelah lulus SMA Negeri 112 Jakarta pada tahun 2013, penulis mengikuti Ujian Mandiri (salah satu jalur masuk Program S1 ITS) dan diterima di Jurusan Teknik

Sipil FTSP ITS, terdaftar dengan NRP 31 13 100 121. Di jurusan Teknik Sipil penulis mengambil bidang studi Perhubungan. Penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan di berbagai kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi himpunan mahasiswa jurusan. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Departemen Dalam Negeri HMS FTSP ITS periode 2014-2015. Kemudian menjabat sebagai Kepala Departemen Dalam Negeri HMS FTSP ITS periode 2015-2016.

e-mail : gistra.zuhair@outlook.com



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284

Form AK/TA-04

rev01



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Hera Widgastuti, M.T., PhD
NAMA MAHASISWA	: Magistra Zuhair Wasistha
NRP	: 3113100121
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Gerbang Tol Pandaan - Malang
TANGGAL PROPOSAL	: 19 Januari 2017
NO. SP-MMTA	: 013035

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	17/3/2017	Analisis Matrik Asal Tujuan, Waktu Pelayanan	Matriks Asal Tujuan, Grafik Waktu Pelayanan	W
2	24/3/2017	MAT, Distribusi, Pembebanan	Perencanaan Gardu Tol	W
3	3/4/2017	Waktu Pelayanan, Intensitas lalu lintas	Frekuensi WP, Intensitas tentukan	W
4	27/4/2017	Waktu Pelayanan, Intensitas, Laporan	Proporsi Dipakai 75 %, Analisis Teori Antrian	
5	4/5/2017	Analisis antrian FIFO, Waktu Pelayanan Intensitas Intensitas lalu lintas	FIFO, Laporan Lanjutkan. Waktu Pelayanan cek out layer dan diberi catatan. Antrian FIFO cek banyak antrian dan lahan Modul, cek rata rata Waktu pelayanan rata-rata 75%, 50%. Cek pertama Intensitas lalu lintas	W
6	9/5/2017	Laporan bab 1-5.	Cek kedua Analisis antrian untuk jumlah gardu. Untuk perpindahan proporsinya dibagi sesuai jumlah gardu rencana dan volume tetap Cek jurnal data out of range, lanjut laporan	W
7	18/5/2017	Kirim laporan ke email herawidgastuti@yahoo.co.uk	Proporsi 2018 → 75% 25% 2030 → 100% GTO 2045 → 75% 25% GTO OBU	W



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir Hera Widyastuti, MT, PhD
NAMA MAHASISWA	: Magistra Zuhair Wasistha
NRP	: 3113100121
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Gerbang Tol Pandaan - Malang
TANGGAL PROPOSAL	: 19 Januari 2017
NO. SP-MMTA	: 013035

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
8	9-6-2017	Gambar Gerbang Tol	Tambahkan 2030 dan 2045	W
9	14-6-2017	2030 dan 2045	Tambahkan ROW dari gambar untuk penambahan gardu.	W